ELETRÔ NICA BÁ SICA

Alcantaro Corrêa
Presidente da FIESC

Sérgio Roberto Arruda
Diretor Regional do SENAI/SC

Antônio José Carradore
Diretor de Educação e Tecnologia do SENAI/SC

Marco Antônio Dociatti
Diretor de Desenvolvimento Organizacional do SENAI/SC

FIESC
SENAI

Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Departamento Regional de Santa Catarina

ELETRÔNICA BÁSICA

Florianópolis – 2004

Não pode ser reproduzido, por qualquer meio, sem autorização por escrito do SENAI DR/SC.

Equipe Técnica:
Organizadores:
Alexandre Correia
D'Jorge Milani
Gilberto Fernandes da Silva
Maximiliano de Oliveira Alves
Pedro Rech

Coordenação:
Adriano Fernandes Cardoso
Osvair Almeida Matos
Roberto Rodrigues de Menezes Junior

Produção Gráfica:
César Augusto Lopes Júnior

Capa:
César Augusto Lopes Júnior

Solicitação de Apostilas: Mat-didat@sc.senai.br

S491r

SENAI. SC. Eletrônica Básica.
Florianópolis: SENAI/SC, 2004. 146 p.

1. Eletrônica Básica. 2. Eletrônica Analógica. 3. Sistema numérico.
I. Título.

CDU:621.22

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Departamento Regional de Santa Catarina
www.sc.senai.br

Rodovia Admar Gonzaga, 2765 – Itacorubi.
CEP 88034-001 - Florianópolis - SC
Fone: (048) 231-4290
Fax: (048) 234-5222

SUMÁRIO

1 Grandezas Elétricas 6
2 Múltiplos e Submúltiplos 7
3 Resistores 8
4 Capacitância 24
5 Indutores 29
6 Transformadores 40
7 Semicondutores 52
8 Circuitos Retificadores 59
9 Filtros nas Fontes de Alimentação 63
10 Diodo Emissor de Luz 66
11 Diodo Zener 72
12 Diodo Zener Ideal X Real 79
13 Transistor Bipolar 82
14 Tópicos Especiais 87
15 Circuito Impresso 92
16 Projeto de Circuito Impresso 95
17 Confecção de Circuito Impresso 114
18 Reguladores de Tensão 121
19 Reguladores com Diodo Zener 124
20 Funcionamento do Circuito Regulador 125
21 Regulação de Tensão com Tensão de Entrada Variável 127
22 Regulação de Tensão com Corrente de Carga Variável 131
23 Regulação de Tensão com Corrente de Carga e Tensão de Entradas Variáveis 134
24 Fonte de Alimentação com Tensão de Saída Regulada à Diodo Zener 135
25 Componentes Eletrônicos Especiais 137
26 Transistor de Unijunção 144
Referências Bibliográficas 146

1 GRANDEZAS ELÉTRICAS

Grandezas elétricas são grandezas que provocam ou são provocadas por efeitos elétricos: ou, ainda, que contribuem ou interferem nesses efeitos.

Corrente Elétrica

Corrente elétrica é a quantidade de cargas elétricas que flui através de um condutor num determinado intervalo de tempo, ou ainda, a tendência para restaurar o equilíbrio elétrico num circuito onde exista diferença de potencial (ddp).

A corrente elétrica num circuito é apresentada pela letra **I** e sua unidade de medida é o **Ampère (A).**

Tensão Elétrica

Tensão elétrica á a diferença de potencial existente entre dois pontos distintos no circuito. Pode ser definida como a força impulsora ou pressão, que força a passagem da corrente elétrica nos condutores.

Quando afirmamos que uma bateria tem 12 volts, estamos dizendo que a diferença de potencial existente entre um pólo e outro é de 12 volts.

A tensão elétrica pode ser representada pelas letras **E**, **V** ou **U** e sua unidade de medida é o **volt (V)**.

Resistência Elétrica

A oposição que um condutor oferece à passagem da corrente elétrica é que denominou-se Resistência Elétrica.

O valor da resistência elétrica está diretamente ligado a combinação de quatro fatores:

- O material que constitui o condutor
- O comprimento do condutor
- A área da seção transversal
- A temperatura de trabalho do condutor

O que determina a resistividade do material a ser utilizado em condutores é a sua quantidade de elétrons livres. Os metais são os melhores condutores de corrente elétrica, destacando o cobre, o alumínio, e a prata.
A resistência elétrica é representada pela letra **R** e sua unidade de medida é o **Ohm (&)**.

Potência Elétrica

O conceito de potência elétrica é definido como a quantidade de trabalho elétrico realizado na unidade de tempo.

É a maneira pelo qual medimos o consumo de energia elétrica em um intervalo de tempo. Sua unidade de medida é o watt, cujo símbolo é “W”.

2 MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS

A seguir relacionamos os múltiplos e submúltiplos, geralmente usados, nas unidades já estudadas.

Corrente Elétrica (I)

Quiloampère (KA)	1 000 A	$1x10^{3}$ A	1 KA
Ampère (A)	1 A	$1x10^{0}$ A	1 A
Miliampère (mA)	0,001 A	$1x10^{-3}$ A	1mA
Microampère (∝A)	0,000 001 A	$1x10^{-6}$ A	1∝A

Tensão Elétrica (V)

Quilovolt (KV)	1 000 V	$1x10^{3}$ V	1 KV
Volt (V)	1 V	$1x10^{0}$ V	1 V
Milivolt (mV)	0,001 V	$1x10^{-3}$ V	1mV
Microvolt (∝V)	0,000 001 V	$1x10^{-6}$ V	1∝V

Resistência Elétrica (R)

Megaohom (M&)	1 000 000 &	$1x10^{6}$ &	1 M&
Quilohm (K&)	1 000 &	$1x10^{3}$ &	1 K&
Ohm (&)	1 &	$1x10^{0}$ &	1&

Potência Elétrica (P)

Megawatt (MW)	1 000 000 W	$1x10^{6}$ W	1MW
Quilowatt (KW)	1000 W	$1x10^{3}$ W	1KW
Watt (W)	1 W	$1x10^{0}$ W	1W
Miliwatt (mW)	1 mW	$1x10^{-3}$ W	1mW

Tabela geral de múltiplos e submúltiplos

MÚLTIPLOS / SUBMÚLTIPLO	**SÍMBOLO**	**VALOR**
Tera	T	1×10^{12}
Giga	G	1×10^{9}
Mega	M	1×10^{6}
Kilo	K	$1 X 10^{3}$
Mili	m	1×10^{-3}
Micro	∝	1×10^{-6}
Nano	n	1×10^{-9}
Pico	p	1×10^{-12}
Fento	f	1×10^{-15}
Atto	a	1×10^{-18}

3 RESISTORES

São componentes utilizados em eletrônica com a finalidade de limitar a corrente elétrica. A figura 01 mostra alguns resistores.

Fig 01 - Resistores de 4 e 5 anéis

Obs: Pelo controle da corrente é possível reduzir ou dividir tensões.

Características dos Resistores

Os resistores possuem características elétricas importantes, através das quais se distinguem uns dos outros:

Resistência ôhmica

É o valor específico de resistência do componente. Os resistores são fabricados em valores padronizados, estabelecido por norma, nos seguintes valores base:

10 - 12 - 15 - 18 - 22 - 27 - 33 - 39 - 47 - 56 - 62 - 68 - 82

A faixa completa de valores de resistência se obtém multiplicando-se os valores base por:

0,01 - 0,1 - 1 - 10 - 100 - 1K - 10K - 100K

Percentual de Tolerância

Os resistores estão sujeitos a diferenças no seu valor específico de resistência, devido ao processo de fabricação. Estas diferenças situam-se em cinco (5) faixas:

a) Mais ou menos 20% de tolerância;
b) Mais ou menos 10% de tolerância;
c) Mais ou menos 5% de tolerância;
d) Mais ou menos 2% de tolerância;
e) Mais ou menos 1% de tolerância.

Os resistores com 20%, 10% e 5% de tolerância são considerados comuns, os de 2% e 1% são considerados de precisão.

O percentual de tolerância indica a variação que o componente pode apresentar em relação ao valor padronizado impresso em seu corpo.

Potência

Define a capacidade de dissipação de calor do resistor, sendo esse valor uma função da tensão e da corrente a que ele está submetido.

Simbologia

A figura 02 mostra a representação de resistores em circuitos eletrônicos.

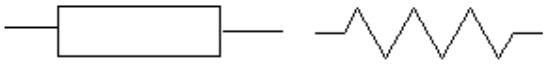


Fig 02 - Simbologia de um resistor

Tipos de Resistores

Existem três tipos de resistores quanto a constituição:

a) Resistores de filme de carbono;
b) Resistores de carvão;
c) Resistores de fio.

A) Resistor de Filme de Carbono:

Também é conhecido como resistor de película, sendo constituído por um corpo cilíndrico de cerâmica que serve como base para uma fina camada espiral de material resistivo (filme de carbono) que determina seu valor ôhmico.

O corpo do resistor pronto recebe um revestimento que dá acabamento na fabricação e isola o filme de carbono da ação da umidade.

Suas principais características são a precisão e estabilidade do valor resistivo

B) Resistor de Carvão:

É constituído por um corpo cilíndrico de porcelana. No interior da porcelana são comprimidas partículas de carvão que definem a resistência do componente. Os valores de resistência não são precisos.

C) Resistores de Fio:

Constitui-se de um corpo de porcelana ou cerâmica que serve como base. Sobre o corpo é enrolado um fio especial (por exemplo níquel-cromo) cujo comprimento e seção determinam o valor do resistor. Os resistores de fio tem capacidade para trabalhar com maiores valores de corrente, produzindo normalmente uma grande quantidade de calor quando em funcionamento.

Cada um dos tipos tem, de acordo com a sua constituição, características que os tornam mais adequados que os outro em sua classe de aplicação.

Quanto a construção os resistores são divididos em três grupos:

A) Resistores fixos
B) Resistores ajustáveis
C) Resistores variáveis

A) Resistores Fixos.

São resistores cujo valor ôhmico já vem definido de fábrica, não sendo possível alterá-los.

B) Resistores Ajustáveis.

São resistores cujo valor de resistência pode ser ajustado, dentro de uma faixa pré-definida.

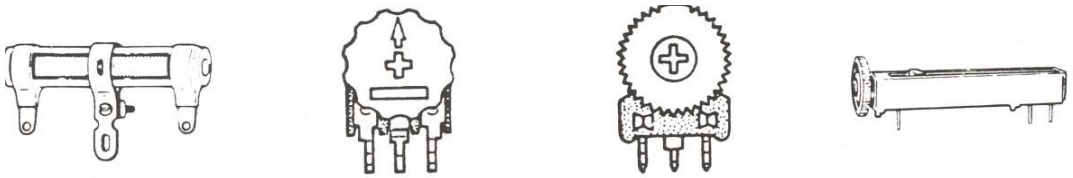


Fig.03 – Resistores ajustáveis.

Estes tipos de resistores são utilizados em circuitos que exijam calibração.

Existem dois tipos de resistores ajustáveis:

resistores ajustável de fio (fig.04)
trimpot (fig.05)

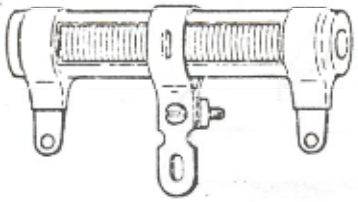


Fig.04

Fig.05

A constituição física dos resistores ajustáveis não é preparada para suportar trocas de valor freqüentes. Este tipo de componente é utilizado em pontos de um circuito onde o ajuste é feito uma vez e não é mais alterado.

Os resistores ajustáveis (de fio e trimpot) são usados para ajustes definitivos nos circuitos.

C) Resistores ajustáveis de fio

È um “resistor de fio” ao qual foi acrescentado um terceiro terminal, denominado de cursor. (fig. 06)

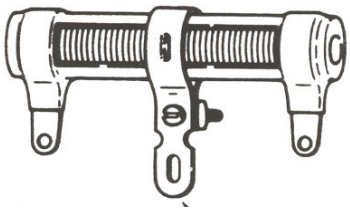


Fig.06

Este terminal é móvel, deslizando em contato elétrico as espiras de fio que constituem o resistor, podendo ser fixado na posição desejada.

Os resistores ajustáveis de fio, em geral, dissipam grande quantidade de calor, porque trabalham com correntes elevadas.
Por esta razão, normalmente são montadas em locais com boa ventilação, sendo ligados aos circuitos através de condutores. (fig. 07)

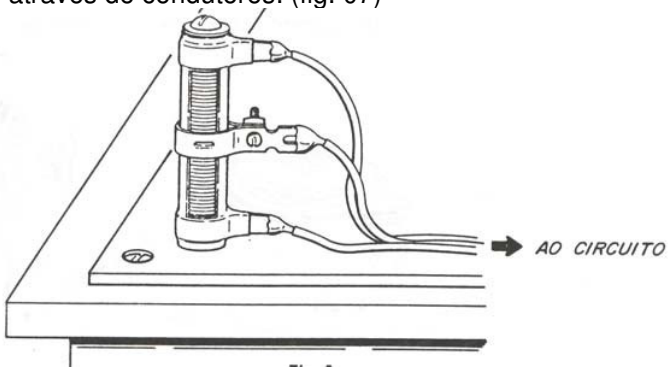


Fig.07

Trimpot

È um tipo de resistor ajustável utilizado em pontos de ajuste onde as correntes são pequenas (da ordem de miliampéres ou menos).

Fig. - 08 dois tipos de trimpot.

Pelo fato de dissiparem pequenas quantidades de calor os trimpots podem ser montados no próprio circuito onde estão atuando. (fig. 09)

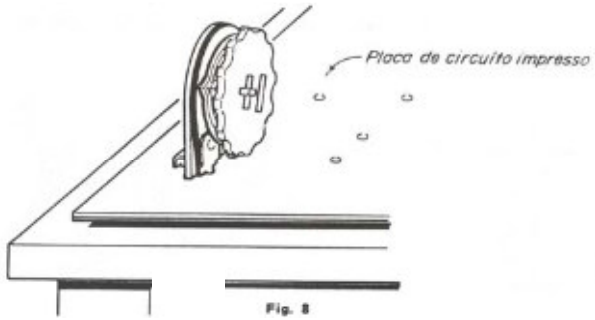


Fig. 09

Existem trimpots verticais e horizontais, de forma a permitir uma opção para a montagem mais adequada a cada aplicação.

A figuras 10 mostra trimpots vertical e horizontal.

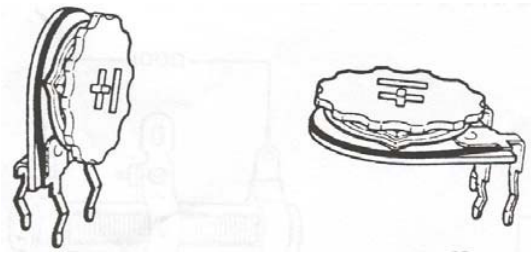


Fig. 10

Características dos resistores ajustáveis

Os resistores ajustáveis apresentam impresso no corpo, valor de resistência entre os dois terminais extremos. (fig. 11 e 12)

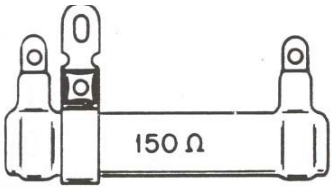


Fig.11

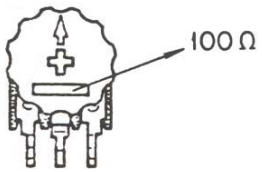


Fig.12

A resistência entre os terminais extremos de um resistor ajustável é a mesma, qualquer que seja a posição do cursor.

Para obter um valor de resistência menor do que o valor total de um resistor ajustável utiliza-se um dos terminais extremos e o cursor (figs. 13 e 14)

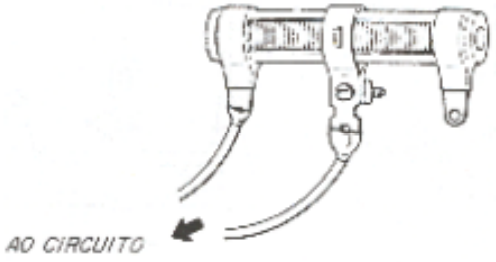


Fig. 13

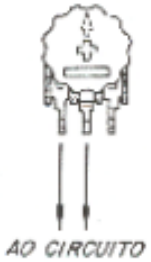


Fig. 14

Desta forma, a resistência ôhmica da parte utilizada será menor que a resistência de todo o resistor.

Observando-se, por exemplo, um resistor ajustável de 100& entre os extremos e posicionando-se o terminal deslizante no centro tem-se:

a)medindo com um ohmímetro entre os terminais extremos 00&.

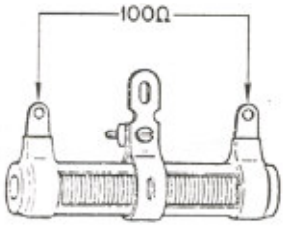


Fig.15

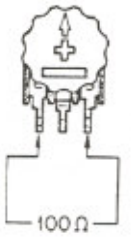


Fig.16

b) medindo entre um dos extremos e o cursor (fixo no centro do resistor) utiliza-se apenas a metade do resistor, obtendo a metade da resistência total 50&.

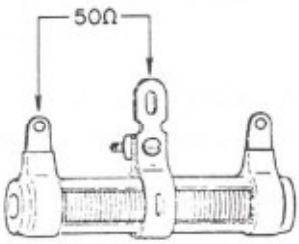


Fig.17

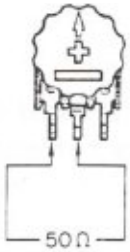


Fig18

Os outros 50&, que completam o valor total do resistor estão na parte do resistor que não será utilizada.

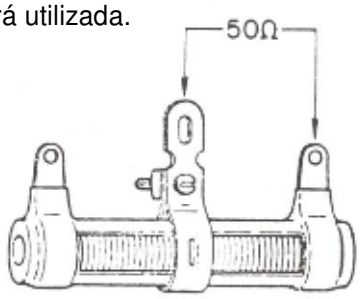


Fig. 19

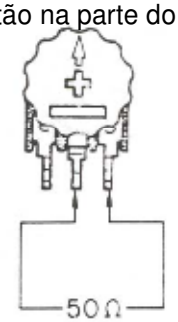


Fig.20

Através do ajuste correto da posição do cursor pode-se obter os mais diversos valores de resistência a partir de um resistor ajustável (valores sempre menores que os extremos).
Os resistores ajustáveis se comportam como dois resistores em série, com uma ligação central.

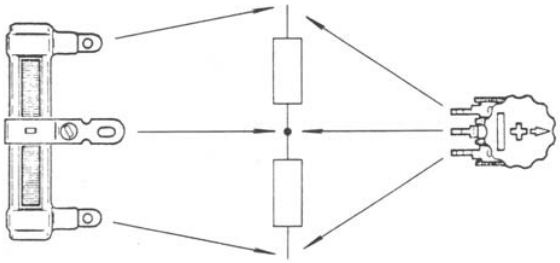


Fig. 21

Simbologia

Os resistores ajustáveis são representados pelos símbolos apresentados na figura 22. O símbolo normalizado está indicado (ABTN).

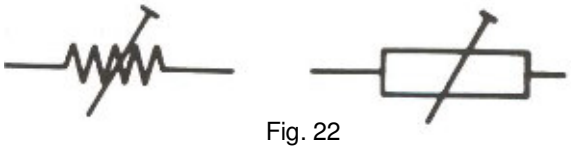


Fig. 22

Nos esquemas, o valor ôhmico que aparece ao lado do símbolo dos resistores ajustáveis corresponde a resistência entre os terminais extremos (valor máximo)

C) Resistores Variáveis

Potenciômetros

São resistores com derivação que permite a variação do valor resistivo pelo movimento de um eixo.

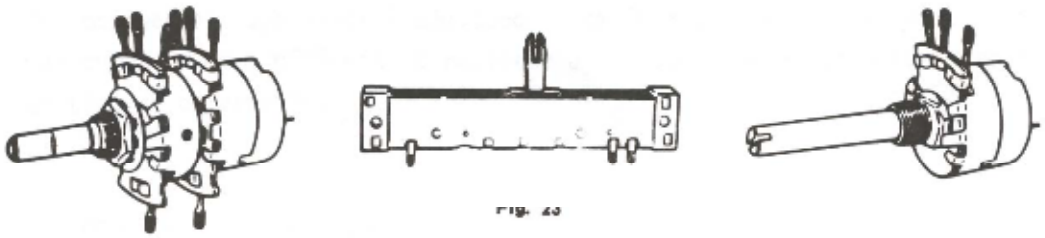


Fig. 23

São usados nos equipamentos para permitir a mudança do regime de operação.

Exemplos:

Potenciômetro de volume – permite aumento ou diminuição do nível de intensidade do som.
Potenciômetro de brilho – permite o controle da luminosidade das imagens.

Funcionamento

Entre os dois terminais extremos o potenciômetro é um resistor comum. Sobre este resistor desliza um 3º terminal chamado de cursor que permite utilizar apenas uma parte da resistência total do componente (de um extremo até o cursor).

A figura 24 mostra um potenciômetro, indicando o movimento do eixo para variação de resistência.

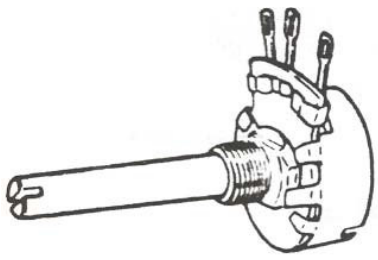


Fig. 24

Simbologia

A figura 25 mostra os símbolos utilizados para representar os potenciômetros, salientando o símbolo normalizado pela ABTN.

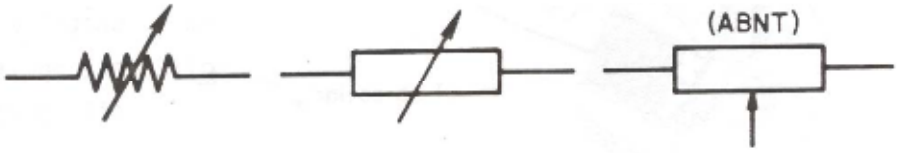


Fig. 25

A diferença entre os símbolos dos resistores ajustáveis e potenciômetros aparece na ponta da diagonal.

Os componentes cujo valor está sujeito a modificação constante (potenciômetros usados no controle, por exemplo) são denominados de “variáveis”. Nos seus símbolos aparece uma seta na ponta da diagonal.

Os componentes cujo valor é ajustado na calibração e não sofre mais alteração são chamados de ajustáveis. O resistor ajustável é um exemplo característico desse tipo de componentes

Tipos de potenciômetros

Existem dois tipos de potenciômetros:

- De fio
- De carbono
  - Linear
  - logarítmico

Potenciômetro de fio

Sobre uma tira de fibra em forma de anel são enroladas várias espiras de fio especial (com resistividade elevada). Fixa-se terminais nas extremidades da fibra e as pontas do fio, formando um resistor.

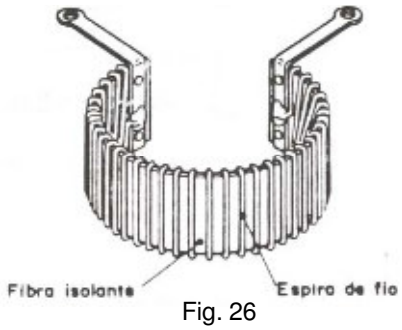


Fig. 26

Sobre o topo da fibra, corre o contato móvel do cursor, que é ligado mecanicamente ao eixo do componente.

O cursor é ligado ao terminal do potenciômetro.

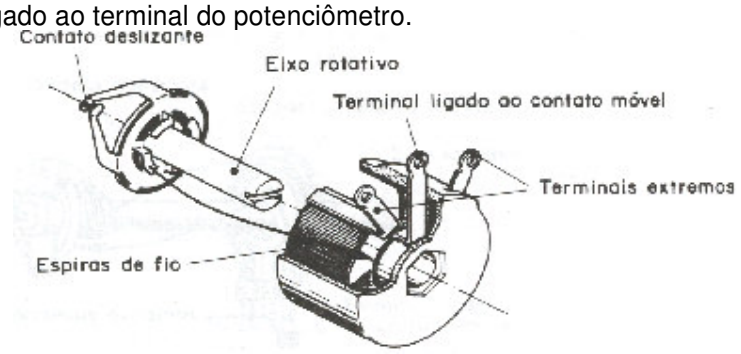
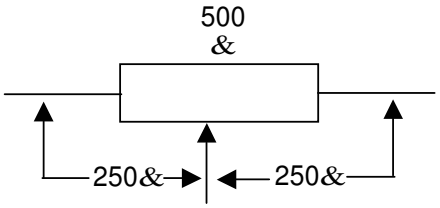


Fig. 27

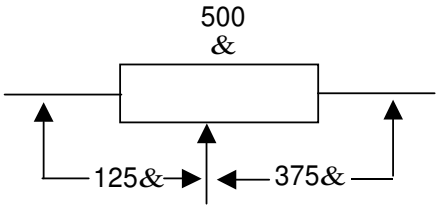
Os potenciômetros de fio para circuito eletrônico são encontrados em valores de até 22& de resistência em potências de dissipação de até 4W.

Nos potenciômetros de fio a resistência entre o cursor e os extremos varia uniformemente com o movimento do eixo.

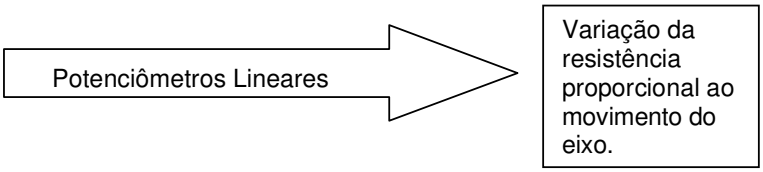
Se o eixo foi movimentado até a metade do curso total a resistência entre o cursor e os extremos são a metade da resistência total.



Se o cursor foi movimentado ¼ do curso total em relação a um extremo, a resistência entre este extremo e o cursor é ¼ da resistência total.



Componentes com esta característica são chamados de “lineares”. Portanto os potenciômetros são sempre lineares.



Potenciômetro de carbono (carvão)

São semelhantes aos potenciômetros de fio na sua constituição. Diferem apenas em um aspecto:

Nos potenciômetros de carvão as espiras de fio especial (do potenciômetro de fio) são substituídas por uma camada de carbono que é depositada sobre uma pista de material isolante.

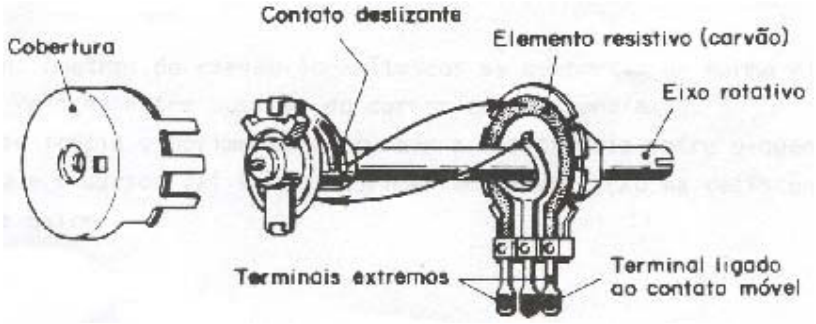


Fig. 28

Os potenciômetros de carbono podem ser lineares ou logarítmicos.
Os potenciômetros de carvão lineares são semelhantes aos de fio.

A variação de resistência entre um extremo e o cursor é proporcional ao movimento do eixo:

Posição do cursor	Resistência entre um extremo e o cursor
Metade do curso total	Metade da resistência total
1/3 do curso total	1/3 da resistência total
3/4 do curso total	¾ do curso total

A variação da resistência dos potenciômetros lineares em relação a posição do cursor se apresenta conforme o gráfico da figura 29.

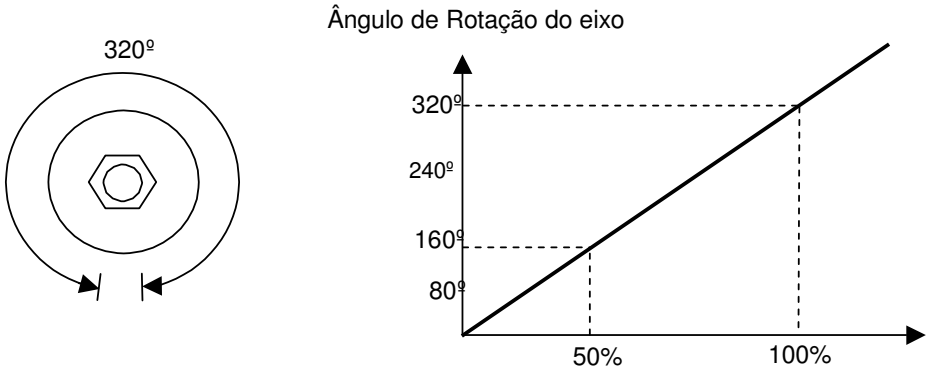


Fig.29

Os potenciômetros de carvão logarítmico se comportam de forma diferente, com respeito a relação entre posição do cursor e resistência.
Quando se inicia o movimento do cursor a resistência sofre pequena variação. A medida que o cursor vai sendo, movimentando a variação na resistência torna-se cada vez maior.

A variação da resistência entre um extremo e o cursor é desproporcional ao movimento do eixo:

Posição do cursor	Resistência entre um extremo e cursor
1/4 do curso total	1/20 da resistência total
1/2 do curso total	1/5 da resistência total
3/4 do curso total	1/2,5 da resistência total

O gráfico da figura 30 mostra como a resistência varia com relação a posição do eixo no potenciômetros logarítmicos.

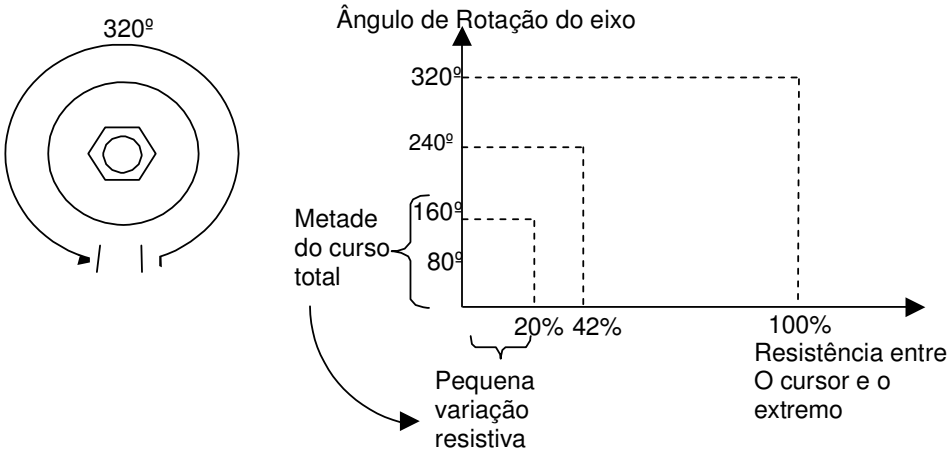


Fig. 30

Os potenciômetros logarítmicos são usados principalmente em controles de volume.

Potenciômetro com chave

Em algumas ocasiões utiliza-se o potenciômetro para controle de volumes e ligação do aparelho. Para cumprir esta finalidade são fabricados potenciômetros logarítmicos com uma chave presa ao eixo.

A figura 31 apresenta um potenciômetro logarítmico com chave

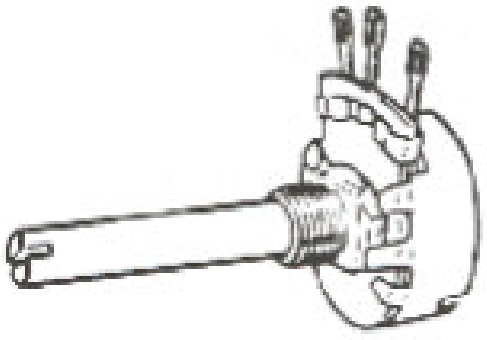


Fig. 31

Potenciômetros duplos

Os potenciômetros duplos são utilizados principalmente em aparelhos de som estereofônico.

Existem modelos de potenciômetros duplos em que um único eixo comanda os dois potenciômetros (fig. 32) e também modelos em que cada potenciômetro tem um eixo próprio (fig. 33).

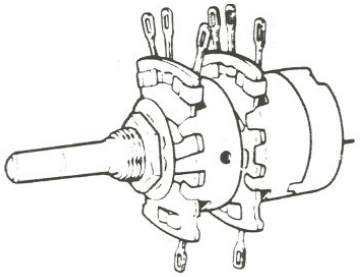


Fig. 32

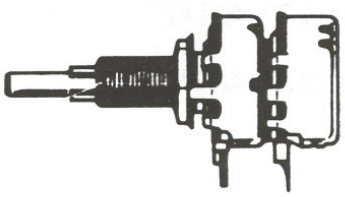


Fig. 33

Potenciômetros deslizantes

Potenciômetros em que o movimento rotativo do eixo é substituído por um movimento linear do cursor (fig.34).

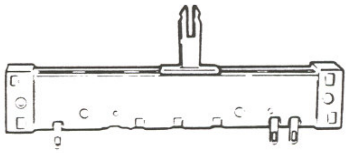


Fig. 34

Aplicação dos resistores ajustáveis e potenciômetros

Os resistores ajustáveis e principalmente os potenciômetros são utilizados principalmente para obtenção de divisores de tensão com tensão de saída variável.

As tensões de saída dos divisores é estabelecida pela relação entre os resistores que o compõem.

Incluindo resistores ajustáveis ou potenciômetros na constituição dos divisores a tensão de saída torna-se variável em função da resistência com que estes elementos são ajustados.

Este tipo de divisor é muito utilizado nos pontos dos circuitos que exigem calibração de ponto de operação.

De acordo com a posição do elemento variável o divisor pode fornecer:

- Um valor de tensão máximo
- Um valor de tensão mínimo
- Valores de tensão máximo e mínimo

Divisor com limite de tensão máxima

Quando o divisor variável é colocado no extremo de referência do divisor, fornece tensões que vão desde “0” volts até um valor especificado menor que a alimentação (fig.35)

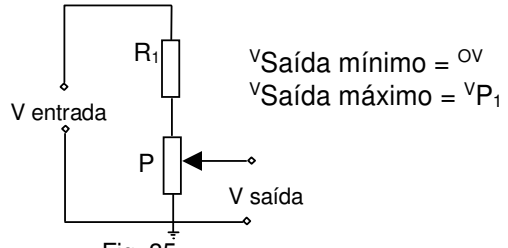


Fig. 35

Divisor com limite de tensão mínima

Quando o resistor variável é colocado no extremo da tensão de alimentação, o divisor fornece tensões que vão desde um valor mínimo até a tensão de alimentação.

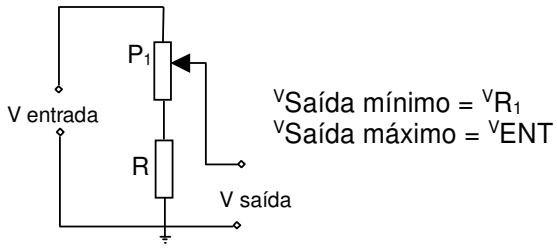


Fig. 36

Divisor com tensão máxima e mínima

O resistor variável é colocado entre outros resistores fornecendo tensões entre um valor mínimo e máximos maiores que “0” e menores que Vcc (fig. 37)

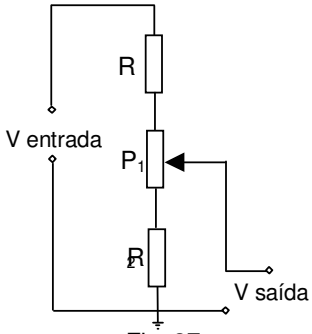


Fig. 37

Especificação de resistores ajustáveis e pótenciômetros

Os resistores ajustáveis são especificados por:

- Valor e potência de dissipação para os de fio.

Ex.: resistor ajustável de 100& e 5W

- Valor e posição de montagem para os trimpots.

Ex.: trimpot de 10&
trimpot de 480& - horizontal

Obs.: normalmente para montagem na vertical não é especificada.

Os potenciômetros são especificados por:

- Apenas o valor para os de fio.

Ex.: Potenciômetro de fio 30&

- Valor, tipo, característica de resposta e chave quando necessário para os de carbono.

Ex.: Potenciômetro de 10K& linear.
Potenciômetro de 470K& logarítmico.
Potenciômetro de 10K& logarítmico com chave.

Código de Cores para Resistores

O valor ôhmico dos resistores e sua tolerância podem ser impressos no corpo do componente, através de anéis coloridos.

A cor de cada anel e a sua posição com relação aos demais anéis, corretamente interpretada fornece dados que distinguem os resistores.

A disposição das cores em forma de anéis possibilita que o valor do componente seja lido de qualquer posição.

Interpretação Do Código De Cores.

Existem no mercado atualmente resistores de quatro e cinco anéis, neste item estudaremos a decodificação do código de cores para esses componentes.

Resistores de Quatro Anéis.

O código se compõe de três anéis utilizados para representar o valor ôhmico, e um para representar o percentual de tolerância.

O primeiro anel a ser lido é aquele que estiver mais próximo de uma das extremidades do componente. Seguem na ordem o 20, 30, e 40 anel colorido.

Fig 38 - Resistores de 4 anéis

Sendo assim:

* 1° anel = 1° número significativo;
* 2° anel = 2º número significativo;
* 3° anel = Multiplicador (número de zeros);
* 4° anel = Tolerância.

TABELA - DECODIFICAÇÃO DE RESISTORES DE 4 ANEIS

COR	Nº SIGNIFICATIVO.	MULTIPLICADOR	TOLERÂNCIA
PRETO	0	X 1	
MARRON	1	X 10	
VERMELHO	2	X 100	
LARANJA	3	X 1K	
AMARELO	4	X 10K	
VERDE	5	X 100K	
AZUL	6		
VIOLETA	7		
CINZA	8		
BRANCO	9		
OURO		X 0,1	±5%
PRATA		X 0,01	±10%
Sem Cor			±20%

Exemplo:

1° anel - amarelo = 4
2° anel - violeta = 7
3° anel - vermelho = 2 zeros (00)
4° anel - ouro = + / - 5 % de tolerância
4700 Ohms + / - 5% = 4k7& + / - 5%

Resistores de Cinco Anéis.

Em algumas aplicações são necessários resistores com valores mais precisos, que se situam entre os valores padronizados. Estes resistores têm seu valor impresso no corpo através de cinco anéis coloridos.

Nestes resistores, os TRÊS primeiros anéis são dígitos significativos, o quarto anel representa o número de zeros (fator multiplicativo) e o quinto anel é a tolerância.

TABELA - DECODIFICAÇÃO DE RESISTORES DE 5 ANEIS

COR	Nº SIGNIFICATIVO	MULTIPLICADOR	TOLERÂNCIA
PRETO	0	X 1	
MARRON	1	X 10	±1%
VERMELHO	2	X 100	±2%
LARANJA	3	X 1K	
AMARELO	4	X 10K	
VERDE	5	X 100K	
AZUL	6		
VIOLETA	7		
CINZA	8		
BRANCO	9		
OURO		X 0,1	±5%
PRATA		X 0,01	±10%
Sem Cor			±20%

Exemplo:

Laranja, branco, branco, laranja, marrom.
39900 Ohms +/- 1%

Casos especiais do código de cores

a) Resistores de 1 A 10 Ohms.

Para representar resistores de 1 a 10 Ohms, o código estabelece o uso da cor dourado no terceiro anel. Esta cor no terceiro anel indica a existência de uma vírgula entre os dois primeiros números.

Exemplo:

Marrom, cinza, dourado, dourado.
1,8 Ohms + / - 5%

b) Resistores abaixo de 1 Ohm.

Para representar resistores abaixo de 1 Ohm o código determina o uso do prateado no terceiro anel. Esta cor no terceiro anel indica a existência de um 0 (zero) antes dos dois primeiros números.

Exemplo:

Marrom, cinza, prata, ouro.
0,18 Ohms + / - 5%

c) Resistores com 06 anéis.

No caso de resistores com seis anéis o último anel indica o coeficiente de temperatura em **ppm** / **°C.**

4 CAPACITÂNCIA

É a grandeza que exprime a quantidade de cargas elétricas que um capacitor pode armazenar. Seu valor depende de alguns fatores:

Área da Armadura.

Quanto maior a área das armaduras, maior a capacitância.

Espessura do Dielétrico.

Quanto mais fino o dielétrico, mais próximas estarão as armaduras. O campo elétrico gerado entre as armaduras será maior e consequentemente a capacitância será maior.

Natureza do Dielétrico.

Quanto maior a capacidade de isolação do dielétrico, maior a capacitância do capacitor.

Unidade de Medida.

A unidade de medida da capacitância é o Farad representado pela letra F, entretanto a unidade Farad é muito grande, o que leva ao uso de submúltiplos tais como: Microfarad = $\propto F = 10^{-6}$

Nanofarad = $nF = 10^{-9}$

Picofarad = $pF = 10^{-12}$

Tensão de Trabalho.

É a máxima tensão (em volts) que o capacitor pode suportar entre suas armaduras sem danifica-lo. A aplicação de uma tensão no capacitor superior a sua tensão de tra- balho máxima, pode provocar o rompimento do dielétrico fazendo com que o capacitor entre em curto, perdendo suas características.

Tipos de Capacitores.

Os capacitores podem ser classificados basicamente em quatro tipos:

Capacitores Fixos Despolarizados.

Apresentam um valor de capacitância específico, não podendo ser alterado. Por ser despolarizado podem ser utilizados tanto em C A como em C C .

Fig. 39

Capacitores Ajustáveis

São capacitores que permitem que se atue sobre sua capacitância, alterando-a dentro de certos limites, por exemplo 10pF a 30pF.

São utilizados nos pontos de calibração dos circuitos, como por exemplo, na calibração de estágios osciladores de receptores ou transmissores de ondas de radio.

Fig. 40

Capacitores Variáveis

São capacitores que também permitem que se atue na sua capacitância, sendo utilizados em locais onde a capacitância é constantemente modificada. Como por exemplo, nos circuitos de sintonia de rádios receptores.

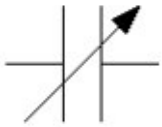


Fig. 41

Capacitores Eletroliticos.

São capacitores fixos cujo processo de fabricação permite a obtenção de altos valores de capacitância com pequeno volume.

O fator que diferencia os capacitores eletrolíticos dos demais capacitores fixos é o dielétrico. Nos capacitores fixos comuns o dielétrico é de papel, mica, cerâmica ou ar.

O dielétrico dos capacitores eletrolíticos é um preparo químico chamado de eletrólito que oxida pela aplicação de tensão elétrica.

Esses capacitores apresentam polaridade, que deverá ser observada, a não observância dessa polaridade implica na total destruição do componente.

Sendo assim estes capacitores não podem ser aplicados em circuitos alimentados por tensão C.A.

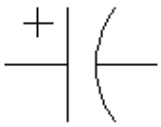


Fig. 42 - Capacitores eletrolíticos

Código de Cores para Capacitores.

Para capacitores de poliéster, o valor da capacitância vem impressa no corpo do componente em forma de anéis coloridos.

A interpretação do código de cores para capacitores é feita de maneira análoga ao código de cores para resistores. A figura 43 mostra o código e a ordem de interpretação.

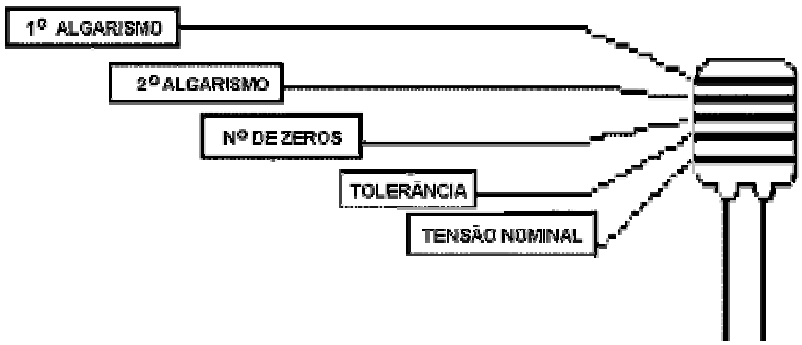


Fig. 43 - Código de cores de capacitores

Para estes capacitores o valor da capacitância é dado em picofarads.

TABELA DE CÓDIGO DE CORES PARA CAPACITORES:

COR	1º ALGARISMO	2º ALGARISMO	Nº DE ZEROS	TOLERÂNCIA	TENSÃO
PRETO	0	0		±20%	
MARRON	1	1	0		
VERMELHO	2	2	00		250V
LARANJA	3	3	000		
AMARELO	4	4	0000		400V
VERDE	5	5	00000		
AZUL	6	6			600V
VIOLETA	7	7			
CINZA	8	8			
BRANCO	9	9		±10%	
OURO			X 0,1		
PRATA			X 0,01		
Sem Cor					

Exemplo:

Amarelo, violeta, laranja, branco, azul.
4 7 000 + / -10% 630V
47000pF = 47nF

Laranja, branco, amarelo, branco, vermelho.
3 9 0000 + / - 10% 250V
390000pF = 390nF = .39∝F

Reatância Capacitiva

Quando um capacitor é alimentado com tensão C A, a corrente que circula por esse capacitor será limitada pela reatância capacitiva (Xc).

Sendo assim a reatância capacitiva é a grandeza que se opõe a passagem de corrente C A por um capacitor, e é medida em ohms. Matematicamente teremos:

$$Xc = \frac{1}{2\pi . f\ C}$$

Onde:

Xc = reatância capacitiva em ohms;
2 = 6,28
f = freqüência em Hertz;
C = capacitância em Farads.

Exemplo:

A reatância capacitiva de um capacitor de 100 F aplicado a uma rede C A de freqüência 60Hz é:

$$Xc = \frac{1}{2 \quad .0,1\ 10^{-3}}$$

Xc = 26,539 &

Relação de Fase Entre Tensão e Corrente num Capacitor

Devido ao fato da reatância capacitiva dos capacitores estarem diretamente relacionadas com a freqüência dos sinais a que são submetidos irá surgir uma defasagem da ordem de 900 entre tensão e corrente, estando esta adiantada dos referidos 900 graus elétricos.

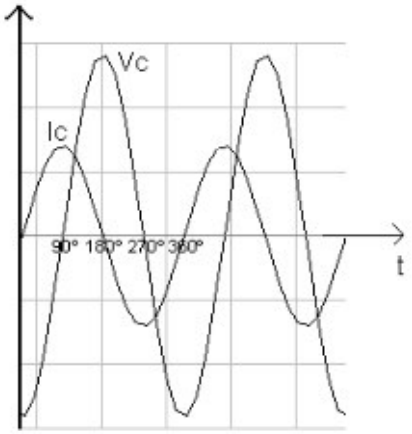


Fig. 44 - Relação entre tensão e corrente em um capacitor

Associação De Capacitores.

Os circuitos série, paralelo e série-paralelo constituídos de capacitores possuem as mesmas formas que os circuitos constituídos de resistores.
Associação Série

A fórmula matemática que exprime a capacitância equivalente (Ceq) é:

$$\frac{1}{Ceq} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + ... + \frac{1}{Cn}$$

Associação Paralelo

A fórmula matemática que exprime a Ceq num circuito paralelo é dada por:

Ceq = C1+C2+C3+...+Cn

5 INDUTORES

Indução

O principio da geração de energia elétrica baseia-se no fato de que toda a vez que um condutor se movimenta no interior de um campo magnético aparece neste condutor uma diferença de potencial (fig.45).

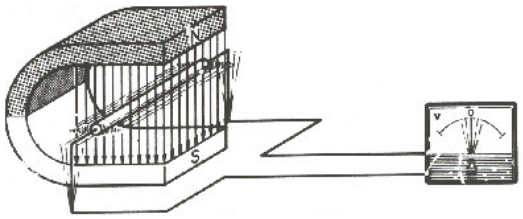


Fig. 45

Esta tensão gerada pelo movimento do condutor no interior de um campo magnético é denominada de TENSÃO INDUZIDA.
Foi o cientista inglês Michael Faraday, ao realizar estudos com o eletromagnetismo, que determinou as condições necessárias para que uma tensão seja induzida em um condutor.

As observações de Faraday podem ser resumidas em duas conclusões:

> Quando um condutor elétrico é sujeito a um campo magnético variável tem origem neste condutor uma tensão induzida.

É importante notar que para ter um campo magnético variável no condutor pode-se:

a) Manter o campo magnético estacionário e movimentar o condutor perpendicularmente ao campo (fig.46).

b) Manter o condutor estacionário e movimentar o campo magnético (fiq.47).

MOVIMENTO DO CONDUTOR
Fig. 46

MOVIMENTO DO CAMPO MAGNÉTICO
Fig. 47

> A magnitude da tensão induzida é diretamente proporcional a intensidade do fluxo magnético e a razão de sua variação.

Isto significa: Campo mais intenso ®maior tensão induzida
Variação do campo mais rápida ®maior tensão induzida

Os geradores elétricos de energia elétrica se baseiam nos princípios estabelecidos por Faraday.

Auto indução

O fenômeno de indução faz com que o comportamento das bobinas em um circuito de CC seja diferente do comportamento dos resistores em um circuito de CC. Em um circuito formado por uma fonte de CC, um resistor e uma chave a corrente atinge o seu valor máximo instantaneamente, no momento em que o interruptor é ligado (fig.48).

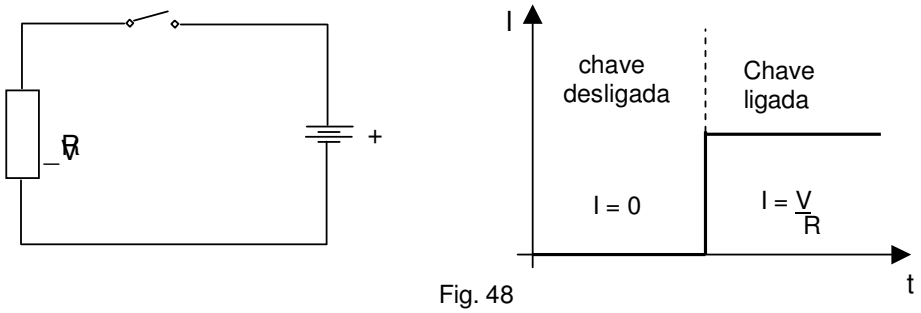


Fig. 48

Se neste mesmo circuito o resistor for substituído por uma bobina o comportamento será diferente. **A corrente atinge o valor máximo** algum tempo após a ligação do interruptor (fig.49).

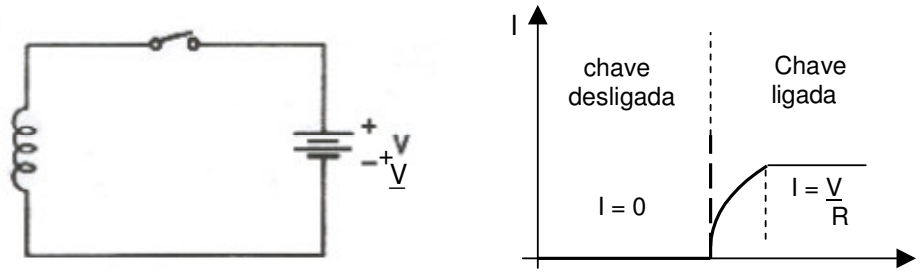


Fig. 49

Este atraso para atingir a corrente máxima se deve a indução e pode ser melhor compreendido imaginando o comportamento do circuito passo a passo.

Supondo-se o circuito composto por uma bobina, uma fonte de CC e uma chave (fig.50).

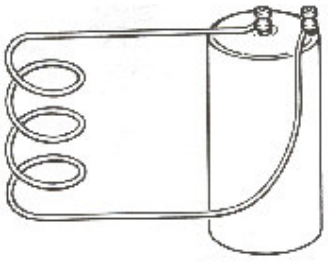


Fig. 50

Enquanto a chave está desligada não há campo magnético ao redor das espiras porque não há corrente circulante.

A figura 51 mostra apenas a bobina em destaque, com algumas espiras representadas em corte.

Não há
Campo
magnético

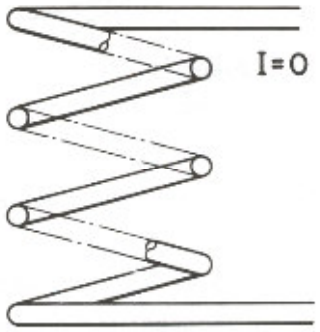


Fig. 51

No momento em que a chave é fechada inicia-se a circulação de corrente na bobina. Com a circulação da corrente surge o campo magnético redor de suas espiras (fig.52).

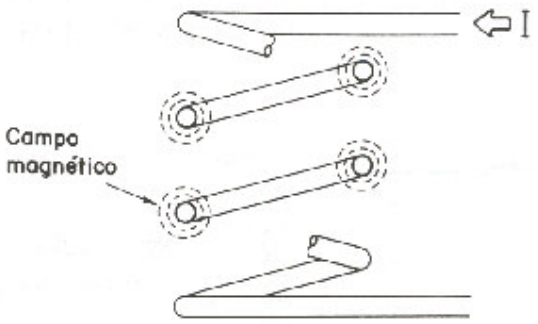


Fig. 52

Na medida em que a corrente cresce em direção ao valor máximo o campo magnético nas espiras se expande (fig.53).

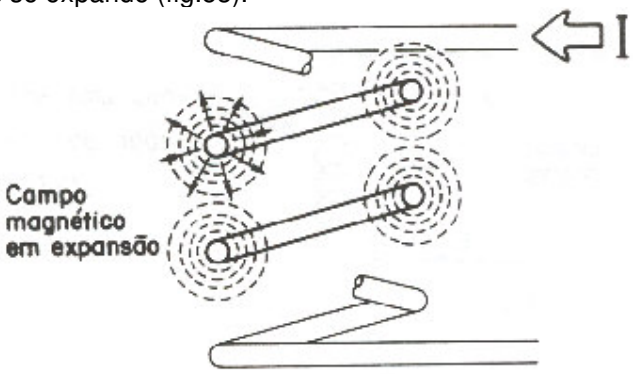


Fig. 53

Ao se expandir o campo magnético em movimento gerado em uma espira corta a espira colocada ao lado (fig.54).

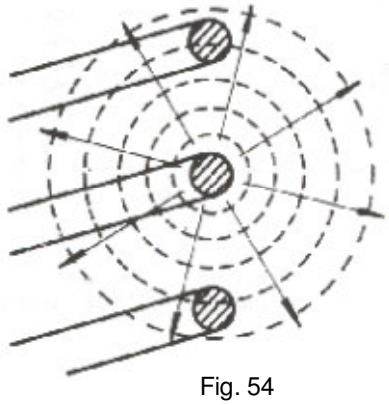


Fig. 54

Conforme Faraday enunciou induz-se nesta espira cortada pelo campo em movimento u ma determinada tensão.

Cada espira da bobina induz nas espiras vizinhas uma tensão elétrica.

O que significa ë que a aplicação de tensão em uma bobina provoca o aparecimento de um campo magnético em expansão que gera na própria bobina uma tensão induzi- da.

Este fenômeno que consiste em uma bobina induzir sobre si mesma uma tensão é denominado de AUTO-INDUÇÃO.

A tensão gerada na bobina por auto indução tem uma característica importante:

- Tem polaridade oposta a tensão que ë aplicada aos seus terminais, razão pela qual é denominada de FORÇA CONTRA ELETRO MOTRIZ (FCEM).

Voltando ao circuito:

Ao ligar a chave aplica-se tensão, com uma determinada polaridade à bobina

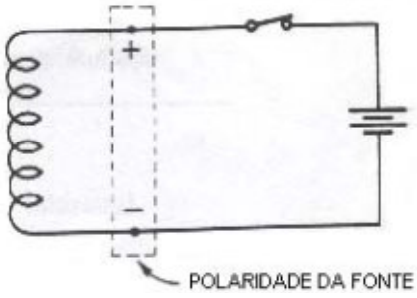


Fig. 55

A auto indução gera, na bobina uma tensão induzida (F CEM) de polaridade oposta a da tensão aplicada (fig.56).

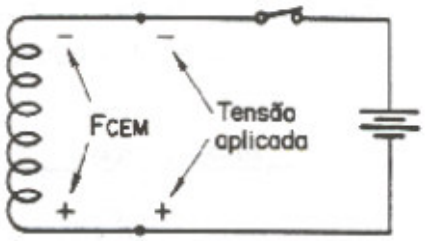


Fig. 56

Representando FCEM corta uma "bateria" existente no interior da própria bobina o circuito se apresenta conforme mostra do na figura 57.

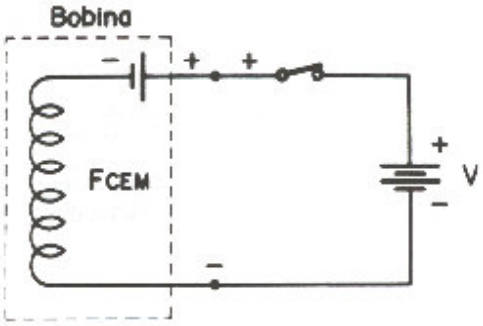


Fig. 57

Como a FCEM atua contra a tensão da fonte, a tensão aplicada a bobina é, na realidade:

Vresultante = Vfonte – Fcem

A corrente no circuito é causada por esta tensão resultante:

$$I = \frac{(V - Fcem)}{R}$$ **tensão resultante**

Como a F CEM existe apenas durante a variação do campo magnético gerado na bobina, quando o campo magnético atinge o valor máximo a FCEM deixa de existir e a corrente atinge o seu valor máximo.
O gráfico da figura 58 mostra detalhadamente esta situação.

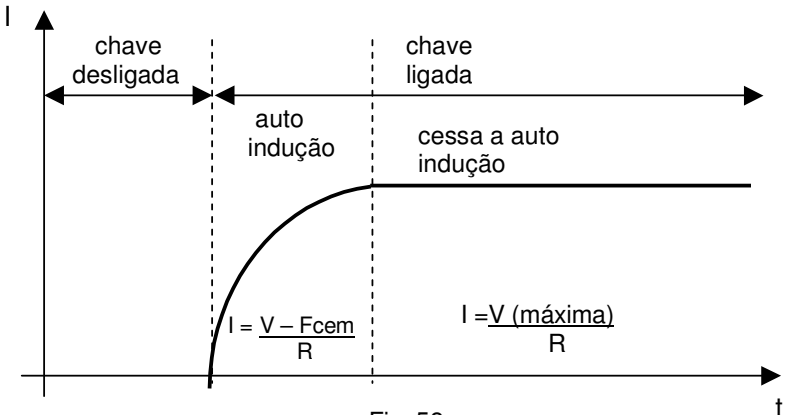


Fig. 58

O mesmo fenômeno ocorre quando a chave é desligada. A contração do campo induz uma F CEM na bobina retardando o decréscimo da corrente (fig.59).

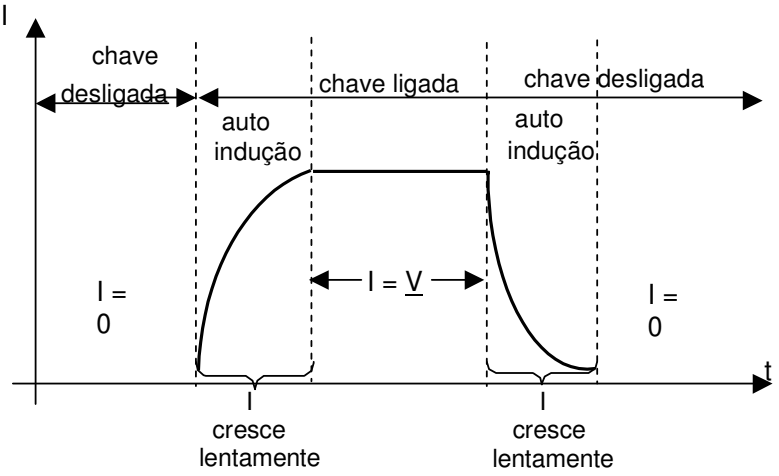


Fig. 59

Em resumo, pode-se dizer que a auto indução faz com que as bobinas tenham uma característica singular:

⇨ *Uma bobina se opõe, a variações bruscas de corrente.*

Esta capacidade de se opor às variações de corrente é denominada de INDUTÂNCIA e é representada pela letra L.

INDUTÂNCIA ⇨ L

A unidade de medida dá indutância é o Henry, representado pela letra H.

CAPACIDADE DE SE OPOR AS VARIAÇÕES DE CORRENTE	INDUTÂNCIA (L)	MEDIDA EM HENRYS (H)

A unidade de medida de indutância Henry tem submúltiplos muito utilizados em eletrônica. A tabela abaixo mostra a relação entre os submúltiplos e a unidade.

SUB UNIDADE	VALOR COM RELAÇÃO AO HENRY
MiliHenry (mH)	10^{-3} H ou 0,001H
MicroHenry (mH)	10^{-6} H ou 0,000001H

A indutância de uma bobina depende de diversos fatores:

Do núcleo { Material, seção, formato }

Do número de espiras - do espaçamento entre as espiras

Do condutor { Tipo, Seção }

Em função de apresentar uma indutância as bobinas são também denominadas de indutores.

Os indutores podem ter as mais diversas formas, podendo inclusive ser parecidos com um transformador.

A figura 60 mostra alguns tipos característicos de indutores.

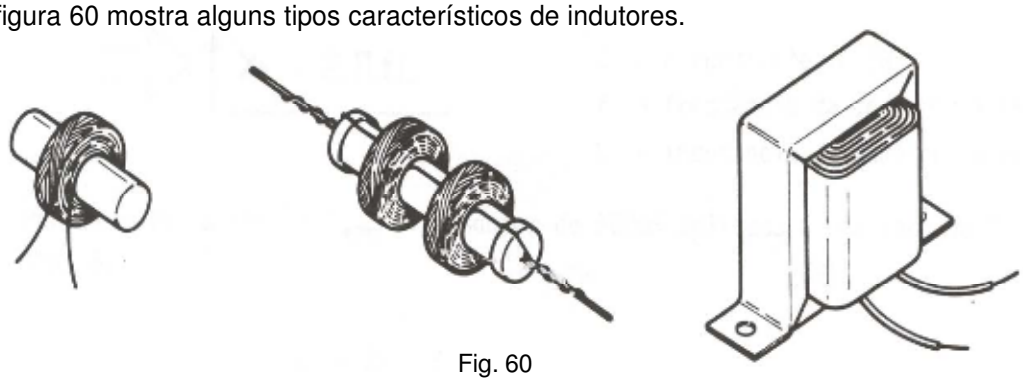


Fig. 60

Indutores em CA

Quando se aplica um indutor em um circuito de CC a sua indutância se manifesta apenas nos momentos em que existe variação de corrente. Já em CA, como os valores de tensão e corrente estão em constante modificação *0* efeito da indutância se manifesta permanentemente. Esta manifestação permanente da "oposição a circulação de uma corrente variável" é denominada de REATANCIA INDUTIVA, representada pela notação ^{X}L.

Reatância Indutiva (^{X}L) é a oposição que um indutor apresenta a circulação de corrente alternada.

Em outras palavras, reatância indutiva ë a resistência de um indutor em corrente alternada.

A reatância indutiva ë expressa em ohms e pode ser determinada através da equação:

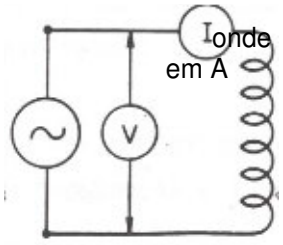
$$XL = 2.\square.f.L$$

Onde XL = reatância indutiva em &
2□ = é constante (6,28)
f = freqüência da corrente alternada
L = indutância do indutor em Henrys

Por exemplo: a reatância de um indutor de 600mH aplicado a uma rede de *CA* de 60Hz é:

$$XL = 2\pi . f . L$$
$$XL = 6,23 . 60 . 0,6$$
$$XL = 226,08\Omega$$

É importante observar que a reatância indutiva de um indutor não depende da tensão aplicada aos seus terminais. *A* corrente que circula em um indutor aplicado a CA (I_L) pode ser calculada com base na Lei de Ohm, substituindo-se R por XL.



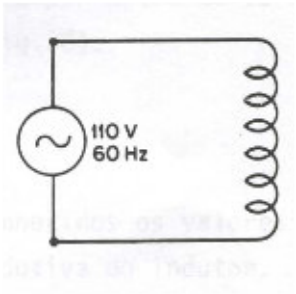
Onde em A

Onde: IL = corrente eficaz no indutor em A
V = tensão eficaz em V
XL = reatância indutiva em &

$$IL = \frac{V}{XL}$$

Fig. 61

O indutor de 600mH aplicado a uma rede de CA 60Hz, 110V permitiria a circulação de uma corrente de:



XL = 2&.f.L = 6,28.60.06 = 226,0852
L=6ooH
IL = V
I = 110V = 0,486A
XL 226,08

IL = 486mA

Fig. 62

O fator de qualidade (Q)

Todo o indutor apresenta, além da reatância indutiva, uma resistência ôhmica que se deve ao condutor com o qual é confeccionado.
O fator de qualidade Q é uma relação entre a reatância indutiva e a resistência ôhmica de um indutor.

$$Q = \frac{XL}{R}$$

Onde: Q = é o fator de qualidade
XL= reatância indutiva
R = resistência ôhmica da bobina

Um indutor ideal deveria apresentar resistência ôhmica zero. Isto determinaria um fator de qualidade 4nfinitamente grande. No entanto, na prática, este indutor não existe. Existe sempre a resistência ôhmica do condutor que constitui o indutor.

Por exemplo: o fator de qualidade de um indutor com reatância indutiva de 3768& (indutor de 10H em 60Hz) e com resistência ôhmica de 80& é:

$$Q = \frac{XL}{} = \frac{3768\&}{} = \not{4}7,1$$

R 80& ⁄ ¯

Determinação experimental da indutância de um condutor

Quando se deseja utilizar um indutor e sua indutância é desconhecida, é possível determiná-la aproximadamente por processo experimental. 0 valor encontrado não será exato porque é necessário considerar que o indutor é puro (R = 0).

Aplica-se ao indutor uma corrente alternada com freqüência e tensão conhecidas (fig.63).

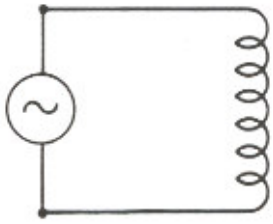


Fig. 63

Determina-se a corrente do circuito com um amperímetro de corrente alternada (fig.66).

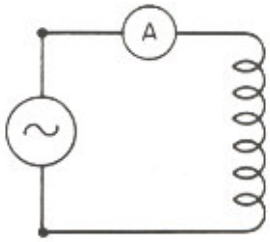


Fig. 64

Conhecidos os valores de tensão e corrente do circuito, determina-se a reatância indutiva do indutor.

$$XL = \frac{V}{IL}$$

V = tensão do indutor
IL = corrente do indutor

Aplica-se o valor encontrado na equação da reatância indutiva e determina-se a indutância:

$XL = 2\pi.f.L$ ⟹ isolando L $\boxed{L = \frac{XL}{2\pi f}}$

A imprecisão do valor encontrado não é significativa na prática, porque os valores de resistência ôhmica da bobina são pequenos, comparados com a sua reatância indutiva (alto Q).

Associação de Indutores

Os indutores podem ser associados em série, em paralelo e até mesmo de forma mista, embora esta ultima não seja muito utilizada. A associação série ë utilizada como forma de obter uma maior indutância. A indutância de uma associação série é dada pela equação:

$L_T = L_1 + L_2 + \ldots + L_n$ Onde L_T = indutância total

$L_1, L_2, ... L_n$ = indutâncias associadas

As figuras 65 e 66 mostram uma associação série de indutores e sua representação esquemática.

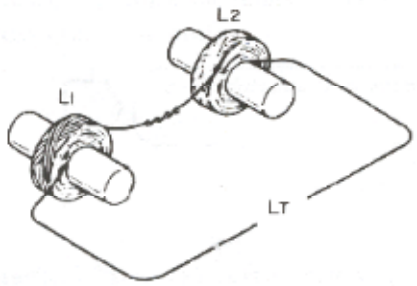


Fig. 65

Fig. 66

A associação paralela pode ser utilizada como forma de obter indutâncias menores ou gomo forma de dividir uma corrente entre diversos indutores (fig. 67 e 68).

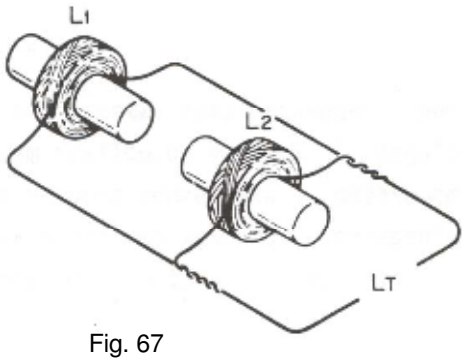


Fig. 67

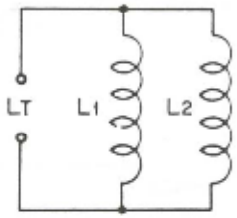


Fig. 68

A indutância total de uma associação paralela de indutores é dada pela equação:

$$LT = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + ... + \frac{1}{L_n}}$$

Observa-se que as equações para cálculo da indutância se assemelham as equações para o cálculo de associações de resistores.

Relação de fase entre corrente e tensão nos indutores

Devido ao fenômeno de auto indução ocorre um defasamento entre corrente e tensão nos indutores ligados em CA.

A auto indução provoca um atraso na corrente em relação a tensão. Este atraso é de 90° (um quarto de ciclo).

⇨ *Nos indutores a corrente está 90º atrasada em relação a tensão.*

A representação senoidal deste fenômeno está apresentada na figura 69.Observa-se que a tensão atinge o máximo antes da corrente.

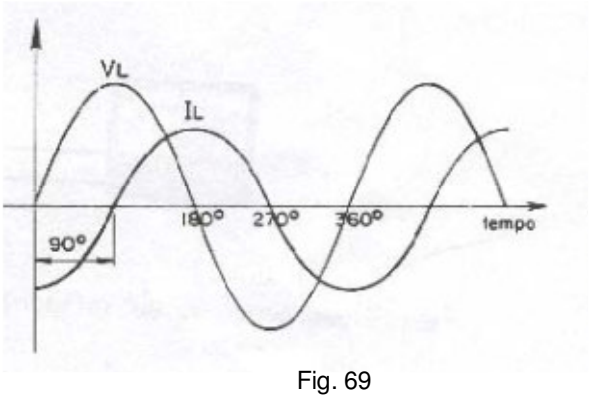


Fig. 69

Pode-se representar esta defasagem por meio de um gráfico de vetores. O ângulo entre os vetores representa a defasagem e o comprimento dos vetores representa os valores de VL e IL (fig. 70).

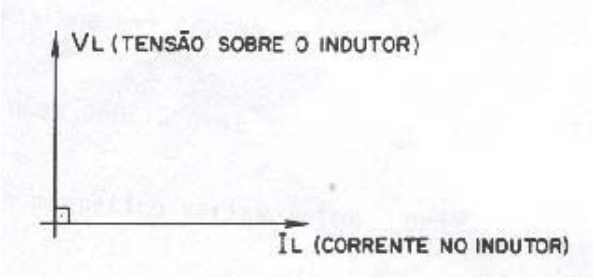
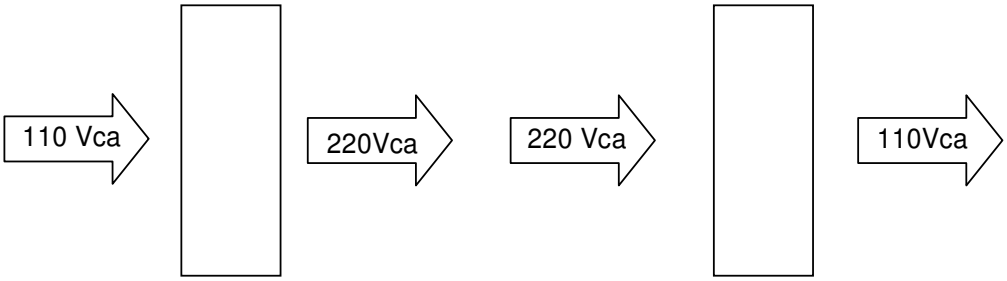


Fig. 70

6 TRANSFORMADORES

O transformador – Princípio de Funcionamento

O transformador é um dispositivo que permite elevar ou rebaixar os valores de tensão ou corrente em circuito de CA



A grande maioria dos equipamentos eletrônicos emprega transformadores, seja como elevador ou rebaixador de tensões.

A figura 71 mostra alguns transformadores.

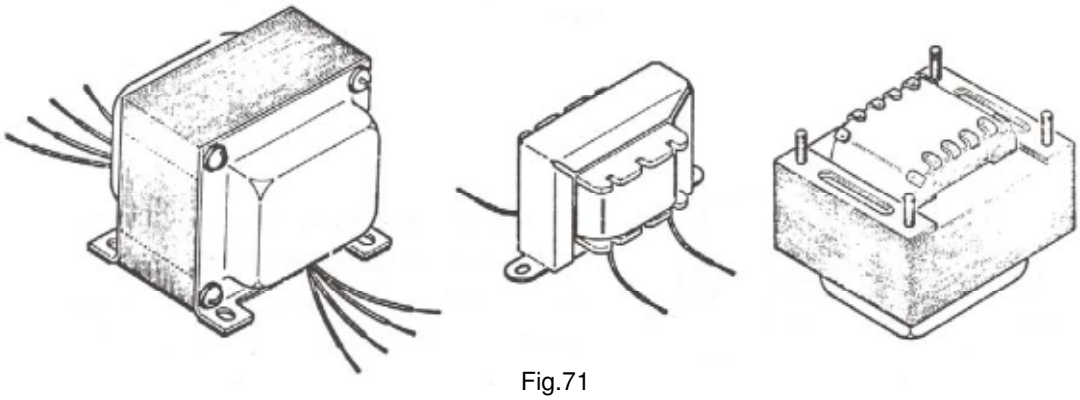


Fig.71

Princípio de funcionamento

Quando uma bobina é conectada a uma fonte de CA surge um campo magnético variável ao seu redor (fig. 72).

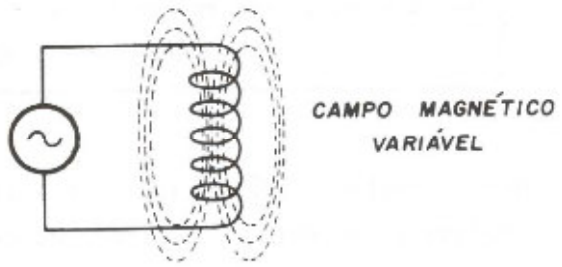


Fig. 72

Aproximando-se outra bobina a primeira o campo magnético variável gerado na primeira bobina “corta” as espiras da Segunda bobina (Fig.73)

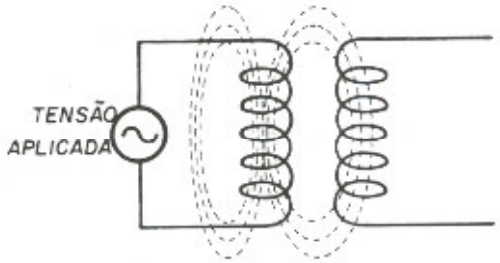


Fig. 73

Como consequência da variação de campo magnético sobre suas espiras surge na segunda bobina uma tensão induzida (fig.74)

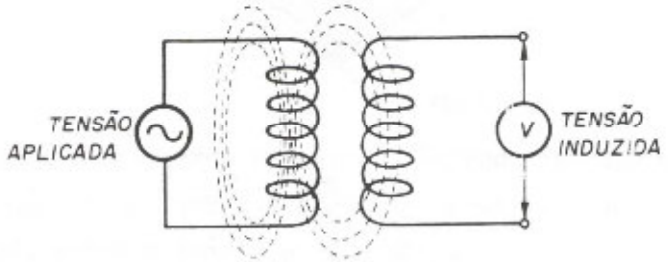


Fig. 74

A bobina na qual se aplica a tensão CA é denominada de primário do transformador e a bobina onde surge a tensão induzida é denominada de secundário do transformador (fig.75)

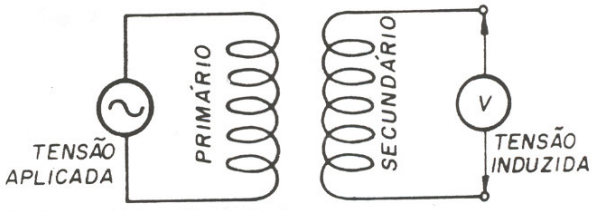


Fig. 75

A bobina do transformador em que se aplica uma tensão CA é denominada de primário e a bobina em que surge uma tensão induzida é denominada de secundário.

É importante observar que as bobinas primária e secundária são eletricamente isoladas entre si. A transferência de energia de uma para a outra se dá exclusivamente através das linhas de força magnéticas.

O primário e o secundário de um transformador são eletricamente isolados entre si.

A tensão induzida no secundário de um transformador é proporcional ao número de linhas magnéticas que corta a bobina secundária.

Por esta razão, o primário e o secundário de u transformador são montados sobre um núcleo de material ferromagnético (fig.76).

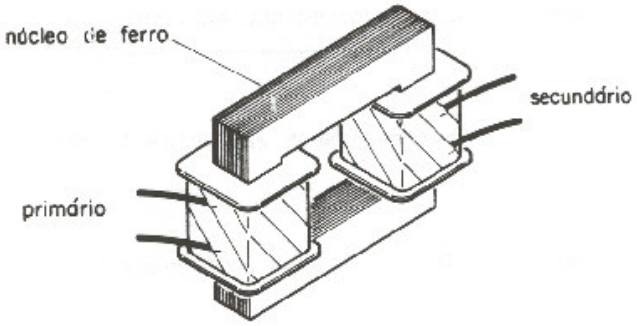


Fig. 76

O núcleo diminui a dispersão do campo magnético, fazendo com que o secundário seja cortado pelo maior número de linha magnéticas possível, obtendo uma melhor transferência de energia entre primário e secundário.

As figuras 77 e 78 ilustram o efeito provocado pela colocação do núcleo no transformador.

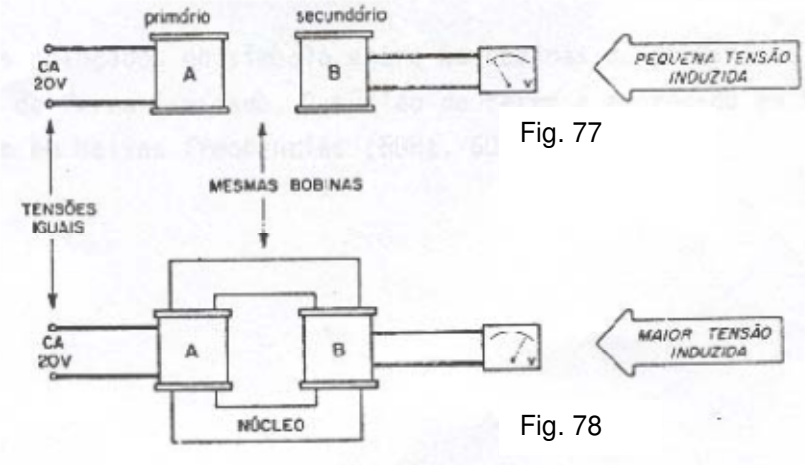


Fig. 77

Fig. 78

Com a inclusão do núcleo o aproveitamento do fluxo magnético gerado no primário é maior. Entretanto, surge um incoveniente: o ferro maciço sofre grande aquecimento com a passagem do fluxo magnético.
Para diminuir este aquecimento utiliza-se ferro silicoso laminado para a construção do núcleo (fig.79)

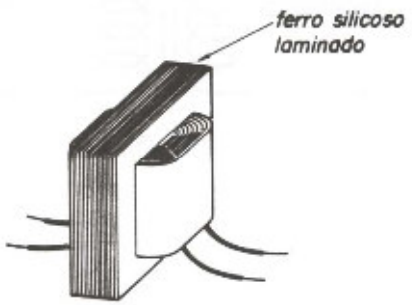


Fig. 79

Com a laminação do ferro se reduzem as “correntes parasitas” responsáveis pelo aquecimento do núcleo.

O núcleo de um transformador é laminado para reduzir as correntes parasitas que provocam o seu aquecimento

A laminação não elimina o aquecimento, mas reduz sensivelmente em relação ao ferro maciço.

A figura 80 mostra os símbolos empregados para representar o transformador, segundo a norma ABNT.

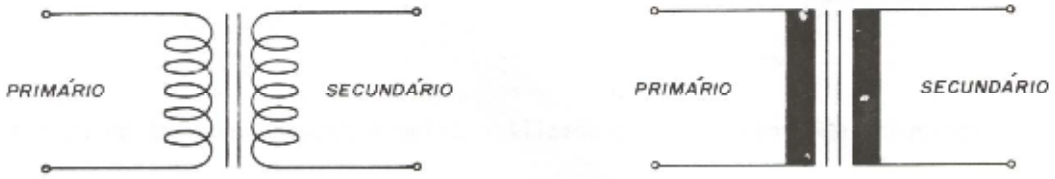


Fig 80

Os traços colocados no símbolo entre as bobinas do primário e secundário indicam o núcleo de ferro laminado. O núcleo de ferro é empregado em transformadores que funcionam em baixas frequências (50Hz, 60Hz, 120Hz).

Transformadores que funcionam em frequências mais altas (kHz) geralmente são montados em núcleo de FERRETE. A figura 83 mostra o símbolo de um transformador com núcleo de ferrite.

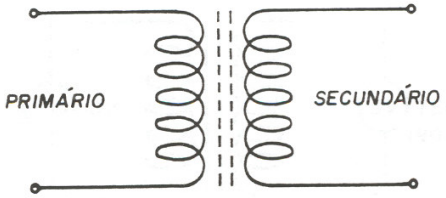


Fig. 81

Transformadores com mais de um secundário

É possível construir transformadores com mais de um secundário, de forma a obter diversas tensões diferentes (fig. 82 e 83).

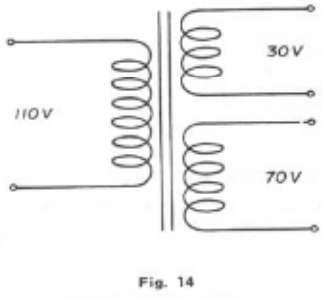


Fig. 82

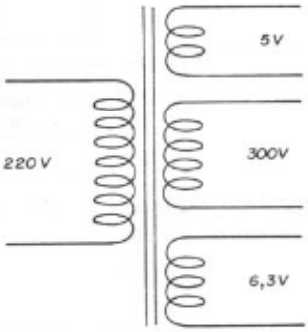


Fig. 83

Este tipo de transformadores é muito utilizado em equipamentos eletrônicos.

Relação de transformação

A aplicação de uma tensão CA ao primário de um transformador resulta no aparecimento de uma tensão induzida no seu secundário (fig.84)

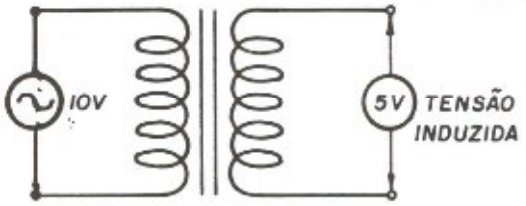


Fig. 84

Aumentando-se a tensão aplicada ao primário, a tensão induzida no secundário aumenta na mesma proporção (fig. 85).

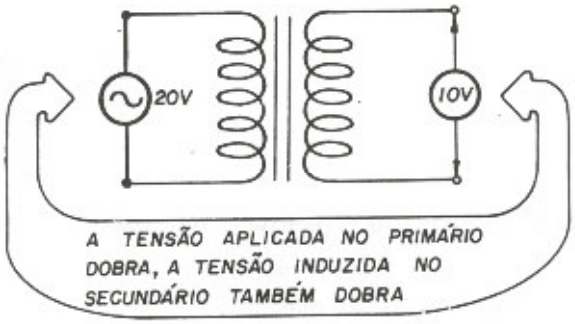


Fig. 85

Verifica-se através dos exemplos das figuras 84 e 85 que, no transformador tomado como exemplo, a tensão do secundário é sempre a metade da tensão aplicada no primário.

A relação entre as tensões no primário e secundário depende fundamentalmente da relação entre o número de espiras no primário e secundário.

Num transformador com primário de 100 espiras e secundário de 200 espiras a tensão no secundário será o dobro da tensão no primário (fig. 86).

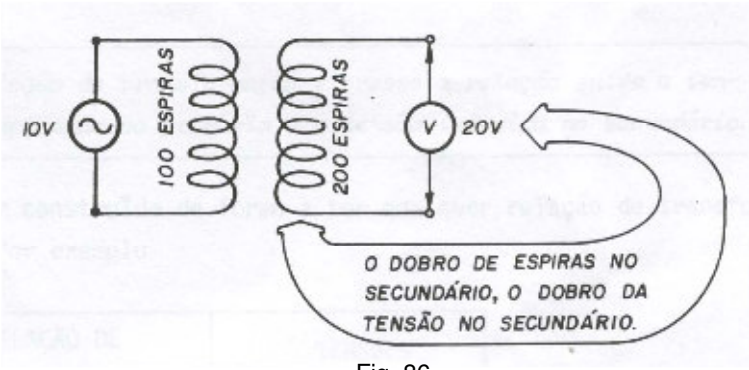


Fig. 86

Denominando-se o número de espiras do primário de Np e do secundário de Ns pode-se escrever:

$\frac{Vs}{Vp} = \frac{20V}{10V} = 2$ $\qquad$ $\frac{Ns}{Np} = 2$ $\qquad$ (lê-se : saem 2 para cada 1 que entra)

Verifica-se que o resultado da relação Ns/Np é o mesmo da relação Vs/Vp. Logo, pode-se escrever:

$$\frac{Vs}{Vp} = \frac{Ns}{Np}$$

Matematicamente pode-se escrever que, para o transformador usado como exemplo:

$\frac{Vs}{Vp}$ $\qquad$ onde Vs = tensão no secundário e $\frac{}{}$ 0,5
Vp = tensão no primário

O resultado desta relação (Vs/Vp) é denominado de relação de transformação.

$\frac{Vs}{Vp}$ = relação de transformação

A relação de transformação expressa a relação entre a tensão aplicada ao primário e a tensão induzida no secundário.

Um transformador pode ser construído de forma a ter qualquer relação de transformação que se necessite. Por exemplo:

Relação de transformação	Tensões
3	Vs = 3 x Vp
5,2	Vs = 5,2 x Vp
0,3	Vs = 0,3 x Vp

Tipos de transformador quanto a relação de transformarão

Quanto a relação de transformação os transformadores podem ser classificados em três grupos:

- transformador elevador
- transformador rebaixador
- transformador isolador

Transformador Elevador

Denomina-se transformador elevador todo o transformador com uma relação de transformação maior que 1 (Ns > Np).

Devido ao fato de que o número de espiras do secundário ê maior que do primário, a tensão do secundário será maior que a do primário.

Transformador Elevador	$Ns > Np$ ® $Vs > Vp$

A figura 87 mostra um exemplo de transformador elevador, com relação de transformação de 1,5.

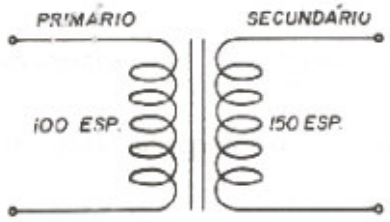


Fig. 87

Se uma tensão de 100V_{CA} for aplicada ao primário a tensão no secundário será de 150V (100 x 1,5 = 150)

Transformador Rebaixador

É todo o transformador com relação de transformação menor que 1 (Ns < Np).

Neste tipo de transformadores a tensão no secundário ê menor que no primário.

Transformador Rebaixador	Ns < Np ®Vs < Vp

A figura 88 mostra um exemplo de transformador rebaixados, com relação de transformação de 0,2.

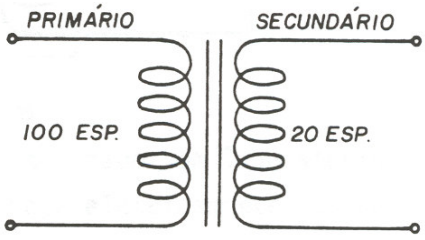


Fig. 88

Neste transformador aplicando-se 50 V_{CA} no primário a tensão no secundário será 10V (50 x 0,2 = 10).

Os transformadores rebaixadores são os mais utilizados em eletrônica, para rebaixar a tensão das redes elétricas domiciliares (110V, 220V, para tensões da ordem de 6V, 12V, 15V necessárias para os equipamentos).

Transformador Isolador

Denomina-se de isolador o transformador que tem uma relação de transformação 1 (Ns = Np).

Como o número de espiras do primário e secundário e igual, a tensão no secundário é igual a tensão no primário.

Transformador Isolador	Ns = Np ® Vs = Vp

A figura 89 mostra um exemplo de transformador isolador.

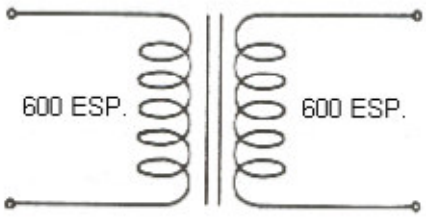


Fig. 89

Este tipo de transformador é utilizado para isolar eletricamente um aparelho da rede elétrica (fig. 90).

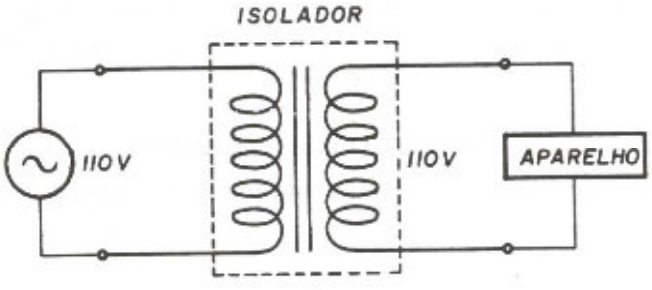


Fig. 90

Os transformadores isoladores são muito utilizados em laboratórios de eletrônica para que a tensão presente nas bancadas seja eletricamente isolada da rede.

Relação de Potência nos transformadores

O transformador é um dispositivo que permite modificar os valores de tensão e corrente em um circuito de CA.

Em realidade, o transformador recebe uma quantidade de energia elétrica no primário, transforma em campo magnético e converte novamente em energia elétrica disponível no secundário (fig. 91).

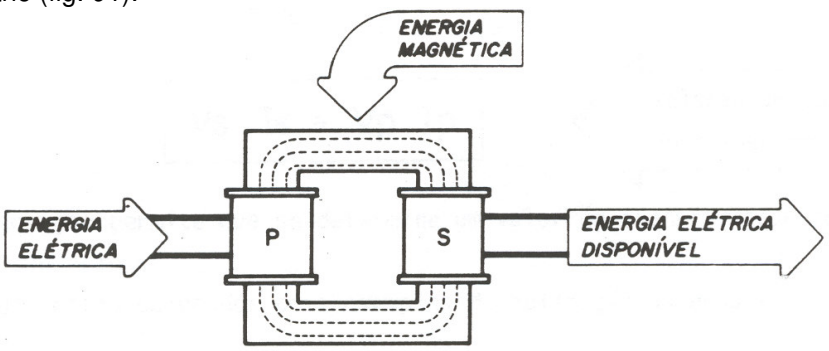


Fig. 91

A quantidade de energia absorvida da rede elétrica pelo primário do transformador é denominada de potência do primário, representada pela notação PP. Admitindo-se que não existam perdas por aquecimento do núcleo, pode-se concluir que toda a energia absorvida no primário esta disponível no secundário.

no Secundário Energia Disponível	= no Primário Energia Absorvida

A energia disponível no secundário é denominada de potência do secundário Ps. Se não existem perdas pode-se afirmar:

$$Ps = Pp$$

A potência do primário depende da tensão aplicada e da corrente absorvida da rede:

Potência do primário → $Pp = Vp.\ Ip$

A potência do secundário é produto da tensão e corrente no secundário:

Potência do secundário → $Ps = Vs.\ Is$

Considerando o transformador como ideal pode-se, então escrever:

$$Ps = Pp$$

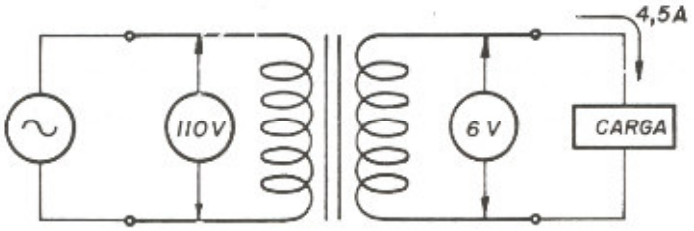
$$Vs \cdot Is = Vp \cdot Ip$$

← Relação de potências no transformador

Esta equação permite que se determine um valor do transformador se os outros três forem conhecidos. A seguir estão colocados dois exemplos de aplicação da equação.

EXEMPLO 1

Um transformador rebaixador de 110/V para 6V deverá alimentar no seu secundário uma carga que absorve uma corrente de 4,5A. Qual será a corrente no primário?



Vp = 110v
Vs = 6V
Is = 4,5A
Ip = ?

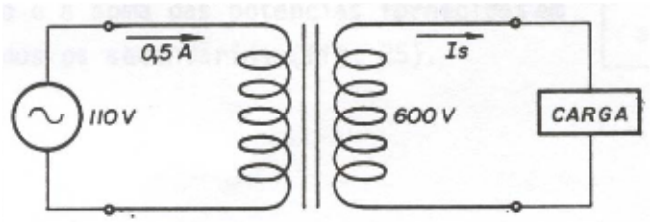
$Vp \cdot Ip = Vs \cdot Is \Rightarrow Ip = \frac{Vs \cdot Is}{Vp}$

$Ip = \frac{6V \cdot 4,5A}{110V} \qquad Ip = \frac{27W}{110V}$

Ip = 0,24A

EXEMPLO 2

Um transformador elevador de 110V para 600V absorve, no primário, uma corrente de 0,5A. Que corrente está sendo solicitada no secundário?



Vp = 110V
Vs = 60OV
Ip = 0,5A
Is = ?

$Vp \cdot Ip = Vs \cdot Is \Rightarrow Is = \frac{Vp \cdot Ip}{Vs}$

$Is = \frac{110V \cdot 0,5A}{600V} \qquad Is = \frac{55W}{600V}$

Is = 91,67mA

Potência em transformadores com mais de um secundário

Quando um transformador tem apenas um secundário a potência absorvida pelo primário é a mesma fornecida no secundário (considerando que não existe perda por aquecimento) (fig. 92).

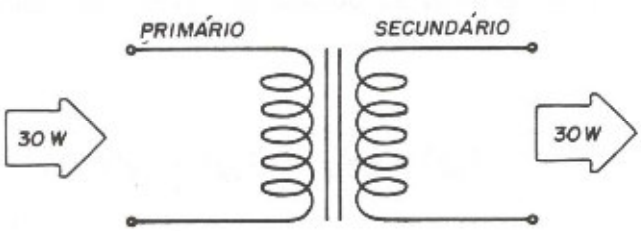


Fig. 92

Quando existe mais de um secundário, a potência absorvida da rede pelo primário é a soma das potências fornecidas em todos os secundários (fig. 93)

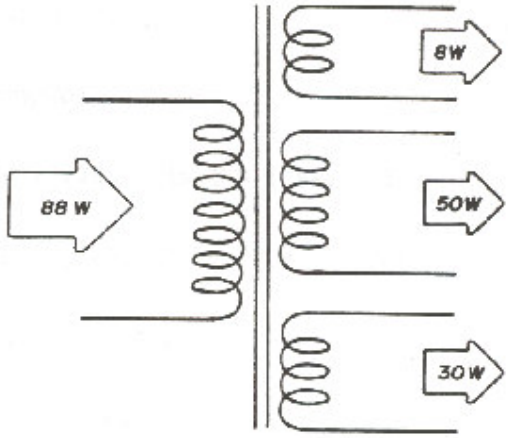


Fig. 93

A potência absorvida da rede pelo primário é a soma das potências de todos os secundários.

Matematicamente pode-se escrever que a potência absorvida pelo primário é:

$$Pp = Ps_1 + Ps_2 + \ldots\ldots + Ps_n$$

Onde: Pp = potência absorvida pelo primário
Ps_1 = potência fornecida pelo secundário 1
Ps_2 = potência fornecida pelo secundário 2
Ps_n = potência fornecida pelo secundário n

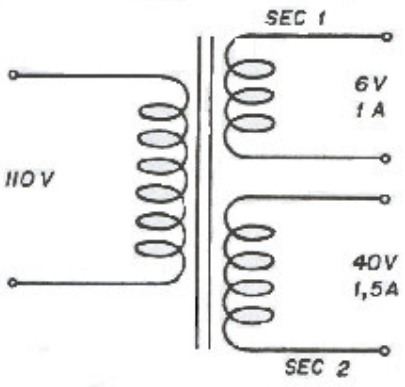
Esta equação pode ser reescrita usando os valores de tensão e corrente no transformador.

$$Vp = Ip = (Vs_1 \cdot Is_1) + (Vs_2 \cdot Is_2) + \ldots.:. + (Vs_n \cdot Is_n)$$

Onde: Vp e Ip = tensão e corrente no primário
Vs_1 e Is_1 = tensão e corrente no secundário 1
Vs_2 e Is_2 = tensão e corrente no secundário 2
Vs_n e Is_n = tensão e corrente no secundário n

A seguir esta apresentado um exemplo de utilização da equação.

- Determinar a corrente no primário do transformador.



$$Vp \cdot Ip = (Vs_1 \cdot Is_1) + (Vs_2 \cdot I_2)$$

$$Vp \cdot Ip = (6V \cdot 1Z) + (40V \cdot 1{,}5A)$$

$$Vp = Ip = 6W + 60W$$

$$110V \cdot Ip = 66W$$

$$Ip = \frac{66W}{110V} \qquad Ip = 0{,}6A$$

Fig. 94

7 SEMICONDUTORES

São materiais que podem apresentar características de isolante ou de condutor, dependendo da forma como se apresenta a sua estrutura química.

Estrutura Química dos Semicondutores

Os semicondutores se caracterizam por serem constituídos de átomos que tem quatro elétrons na camada de valência (tetravalentes).
As figuras 95 e 96 mostram a configuração de dois átomos que dão origem a materiais semicondutores.

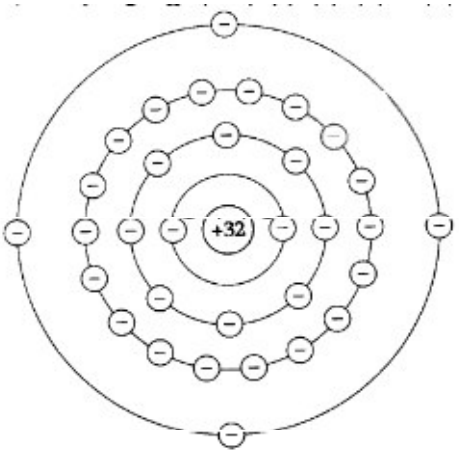


Fig. 95 – Germânio

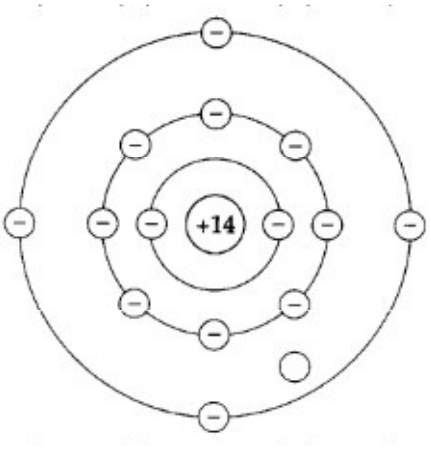


Fig 96. - Silício

Os átomos que possuem quatro elétrons na ultima camada tem tendência a se agruparem segundo uma formação cristalina.

Neste tipo de ligação cada átomo se combina com quatro outros, fazendo com que cada elétron pertença simultaneamente a dois átomos.
Este tipo de ligação química é denominada de ligação covalente, e é representada simbolicamente por dois traços que interligam dois núcleos.

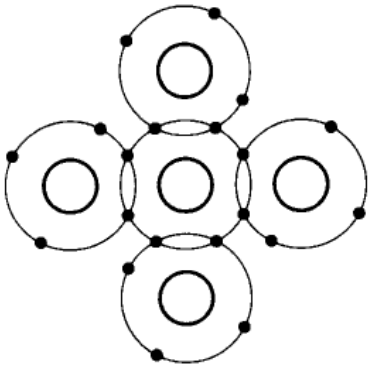


Fig. 97- Ligação covalente

As estruturas cristalinas de elementos tetravalentes são eletricamente isolantes.

Dopagem

A dopagem é um processo químico que tem por finalidade introduzir átomos estranhos a uma substância na sua estrutura cristalina.

Cristal "N"

Quando o processo de dopagem introduz na estrutura cristalina uma quantidade de átomos com mais de quatro elétrons na ultima camada, forma-se uma nova estrutura cristalina denominada cristal N.

Exemplo:

A introdução de átomos de fósforo que possuí cinco (5) elétrons na ultima camada. Dos cinco elétrons externos do fósforo apenas quatro encontram um par no cristal que possibilite a ligação covalente.

O quinto elétron por não encontrar um par para formar uma ligação, tem a característica de se libertar facilmente do átomo, passando a vagar livremente dentro da estrutura do cristal, constituindo-se um portador livre de carga elétrica.

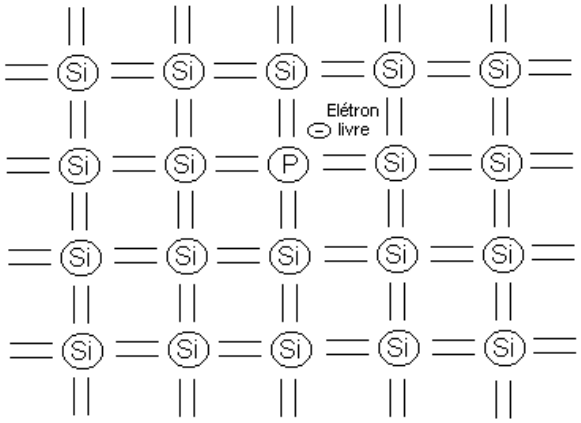


Fig. 98 - Material Tipo N

Cristal “P”.

A utilização de átomos com menos de quatro elétrons na ultima camada para o processo de dopagem dá origem a um tipo de estrutura chamada cristal P.

Exemplo:

O átomo de índio que tem três elétrons na ultima camada, dá origem a um cristal P. Quando os átomos de índio são colocados na estrutura do cristal puro verifica-se a falta de um elétron para a formação de ligações covalentes, esta falta é denominada de lacuna, sendo representada por uma carga elétrica positiva na estrutura química.

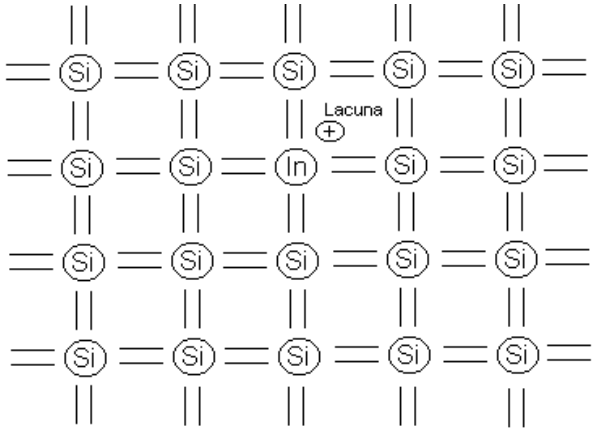


Fig. 99 - Material Tipo P

Obs: A lacuna não é propriamente uma carga positiva, mas sim, a ausência de uma carga negativa.

Diodo Semicondutor

O diodo semicondutor é um componente que apresenta a característica de se comportar como um condutor ou como um isolante elétrico dependendo da forma como a tensão seja aplicada a seus terminais.

Estrutura Básica

O diodo se constitui na junção de duas pastilhas de material semicondutor: uma de cristal do tipo P e outra de cristal do tipo N.

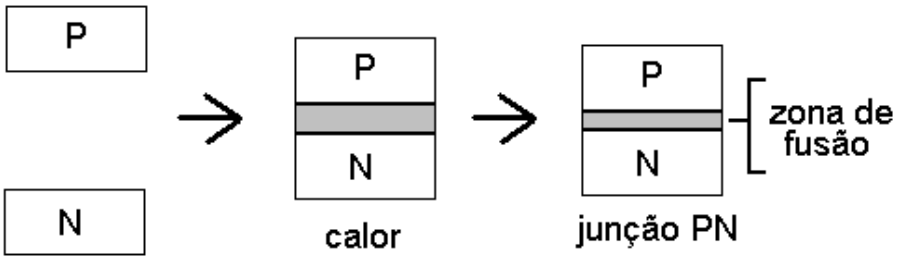


Fig. 100 - Junção PN (Diodo)

Comportamento Dos Cristais Após A Junção

Após a junção das pastilhas que formam o diodo ocorre um processo de "acomodamento" químico entre os cristais.

Na região da junção alguns elétrons livres saem do material N e passam para o material P, recombinando-se com as lacunas das proximidades.

O mesmo ocorre com algumas lacunas que passam do material P para o material N e se recombinam com os elétrons livres.

Forma-se na junção uma região onde não existem portadores de carga, porque estão todos recombinados, neutralizando-se. Esta região é denominada de região de deplexão, e verifica-se que nela existe uma diferença de potencial proporcionada pelo deslocamento dos portadores de um cristal para o outro.

Essa barreira de potencial é da ordem de 0,7V para diodos de silício e de 0,3V para os diodos de germânio.

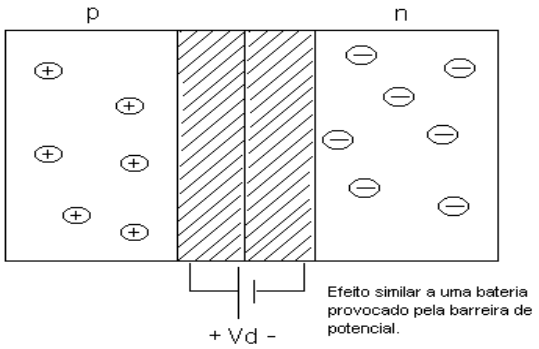


Fig. - 101

Aplicação de Tensão Sobre o Diodo.

A aplicação da tensão sobre o diodo estabelece a forma como o componente se comporta eletricamente.

A tensão pode ser aplicada ao diodo de duas formas diferentes, denominadas tecnicamente de:

Polarização direta;
Polarização inversa.

Polarização Direta

A polarização do diodo é considerada direta quando a tensão positiva da fonte de alimentação é aplicada ao cristal P e a tensão negativa da referida fonte é aplicada ao cristal N.

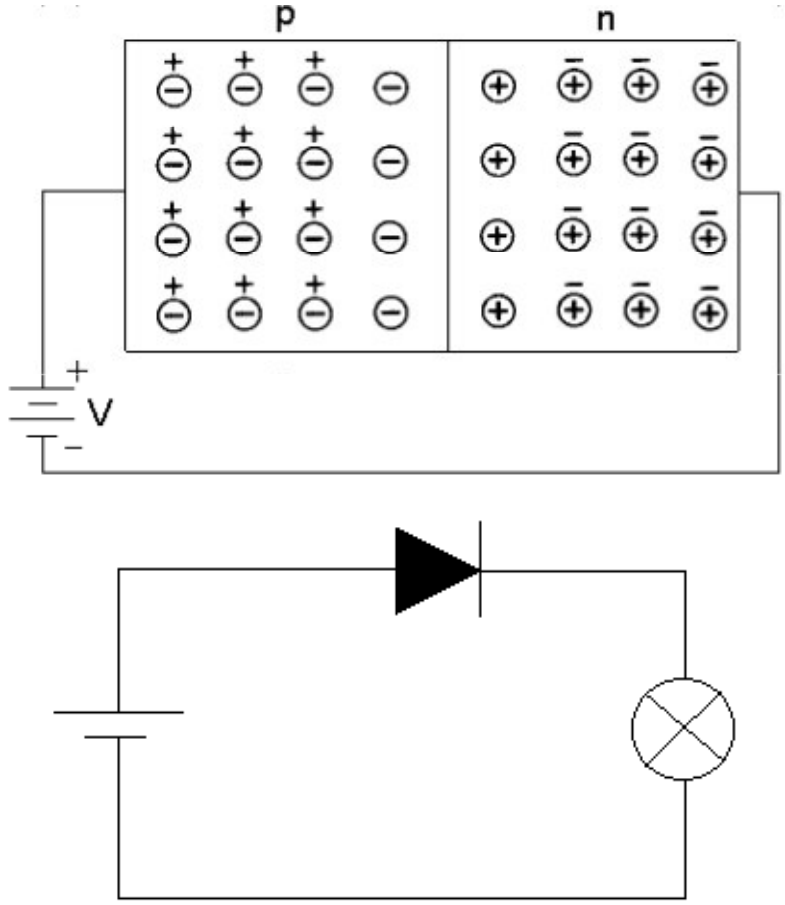


Fig. 102 - Polarização Direta na Junção PN

Efeitos da Polarização Direta Sobre o Diodo

O polo positivo da fonte repele as lacunas do cristal P em direção ao polo negativo, enquanto os elétrons livres do cristal N são repelidos pelo polo negativo em direção ao positivo da fonte.
Se a tensão da bateria externa for maior que a tensão da barreira de potencial as forças de atração e repulsão provocadas pela fonte de tensão externa permitem aos portadores adquirir velocidade suficiente para atravessar a região onde há ausência de portadores.

Nesta situação o diodo permite a circulação de corrente no circuito e, diz-se que o diodo está em condução ou saturado.

É importante observar que a seta do símbolo do componente indica o sentido de circulação (convencional) da corrente elétrica.

Polarização Inversa

A polarização inversa de um diodo consiste na aplicação de tensão positiva no cristal N e negativa no cristal P.

Nesta condição os portadores livres de cada cristal são atraídos pelos potenciais da bateria para os extremos do diodo.

Observa-se que a polarização inversa provoca um alargamento da região de deplexão, porque os portadores são afastados da junção.

Portanto conclui-se que a polarização inversa faz com que o diodo impeça a circulação de corrente no circuito elétrico ao qual ele está inserido. Diz-se que nesta situação o diodo está cortado ou em bloqueio.

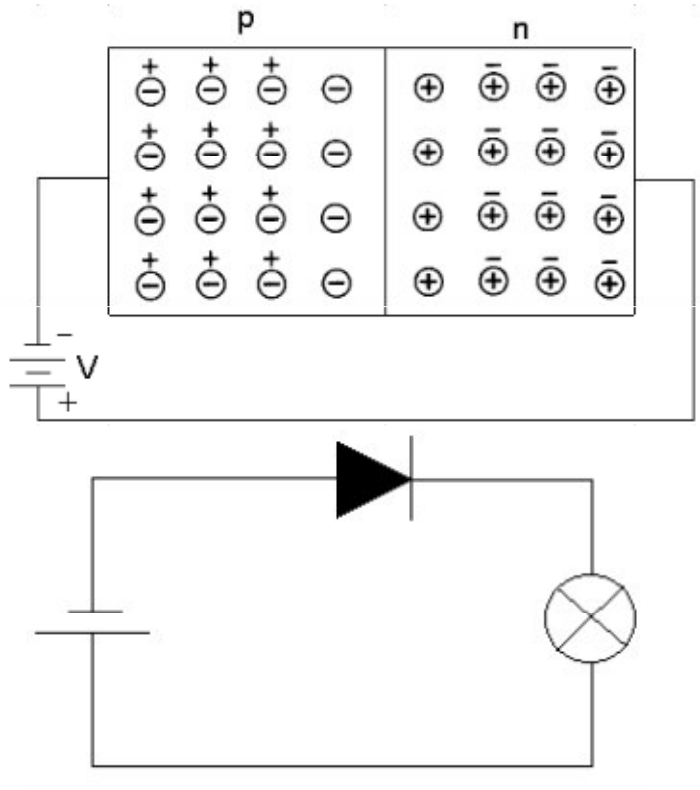


Fig. 103 - Polarização inversa na Junção PN

Simbologia

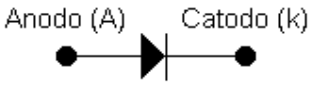


Fig. 104 - Simbologia do diodo

- Parâmetros Máximos Do Diodo

Os parâmetros máximos estabelecem os limites da tensão e corrente que podem ser aplicados ao diodo, sem provocar danos a sua estrutura.

A) Corrente Máxima Direta

A corrente máxima de cada diodo é dada pelo fabricante em folhetos técnicos.

Este é o valor máximo admissível para a corrente, devendo-se trabalhar com valor em torno de 20% inferiores ao máximo, para garantir a vida útil do componente.

B) Tensão Reversa Máxima

As tensões reversas colocam o diodo em corte. Nesta situação toda tensão aplicada ao circuito fica sobre o diodo.

Cada diodo tem a estrutura preparada para suportar um determinado valor de tensão reversa, que nunca deverá ser ultrapassado, sob pena da destruição do componente.

Aqui também é aconselhável trabalhar-se com valores em torno de 20% inferiores ao valor máximo.

Teste De Diodos Semicondutores

Os testes realizados para se determinar as condições de um diodo se resumem a uma verificação da resistência do componente nos sentidos de condução e bloqueio.

A tensão de polarização para teste do diodo será fornecida pelo próprio multímetro. Sendo assim o diodo será considerado em bom estado, quando polarizado diretamente, apresentar uma resistência baixa (na casa das dezenas de ohms) e, quando polarizado inversamente, apresentar uma resistência alta (vários K ohms).

Se nas duas polarizações o diodo apresentar uma baixa resistência, significa que o mesmo está em curto. Mas se nas duas polarizações o diodo apresentar uma alta resistência, diz-se que ele está aberto.

Retificador de meia onda

O circuito abaixo é conhecido como retificador de meia onda:

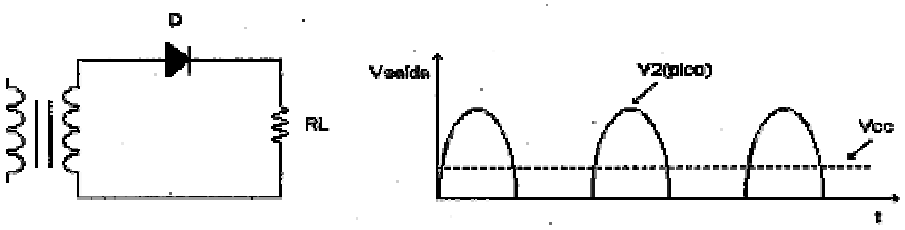


Fig. 105

No semiciclo positivo da tensão do secundário do trafo, o diodo está diretamente polarizado para todas as tensões maiores que a tensão de limiar (aprox. 0,7 V para diodos de silício). Isto produz uma meia onda senoidal de tensão através do resistor de carga. Como a tensão de pico da onda é geralmente muito maior que a tensão de limiar, despreza-se, geralmente, esta última.

No semiciclo negativo, o diodo está polarizado reversamente. Desprezando-se a corrente de fuga, a corrente de carga cai a zero.

Este circuito transforma, portanto, uma tensão alternada na entrada em uma tensão pulsante cc. Um circuito deste tipo é denominado *retificador*.

A tensão média do sinal de meia onda, desprezando-se a queda no diodo, é:

$$V_{cc} = \frac{V_{2(pico)}}{\pi} \quad \text{ou} \quad V_{cc} = 0{,}318\, V_{2(pico)}$$

Por exemplo, supondo que a tensão no secundário do trafo seja de 12,6 V. O valor médio da onda retificada pelo circuito acima é:

$$V_{2(pico)} = \sqrt{2}\, V \quad \text{ou} \quad V_{2(pico)} = 1{,}41\, V$$

$$V_{cc} = 0{,}318 \cdot 17{,}8 \quad (5{,}66)$$

A tensão média é chamada *tensão cc* porque é esta tensão que indicaria um voltímetro cc se este estivesse conectado à carga.

Especificação da corrente do diodo

Para especificação de um diodo para um circuito retificador de meia onda, basta calcular a tensão cc e conhecer a carga. A corrente que circular sobre a carga será a mesma do diodo.
Por exemplo: Se a tensão cc for de 5,6 V e a carga tiver uma resistência constante de 10 &, a corrente de carga será de 0,566 A. Um diodo 1N4001 seria adequado para este circuito, já que suporta uma corrente de até 1 A, segundo especificações do fabri- cante.

Tensão de pico inversa

No momento em que o diodo está polarizado inversamente, no semiciclo negativo da onda de entrada, não há corrente circulando pelo circuito, e toda a tensão aparece sobre o diodo. A tensão reversa suportável pelo diodo deve, portanto, ser maior que a tensão de pico da onda de entrada.

Retificador de onda completa

A figura abaixo mostra um *retificador de onda completa.* Durante o semiciclo positivo da tensão do secundário, o diodo de cima está polarizado diretamente e o diodo de baixo está polarizado reversamente. A corrente passa pelo diodo de cima, pelo resistor de carga e pela metade superior do enrolamento. Durante o semiciclo negativo, a cor- rente passa pelo diodo de baixo, pelo resistor de carga e pela metade inferior do enrolamento. Observe que a corrente na carga tem sempre o mesmo sentido, não importando qual diodo está conduzindo.

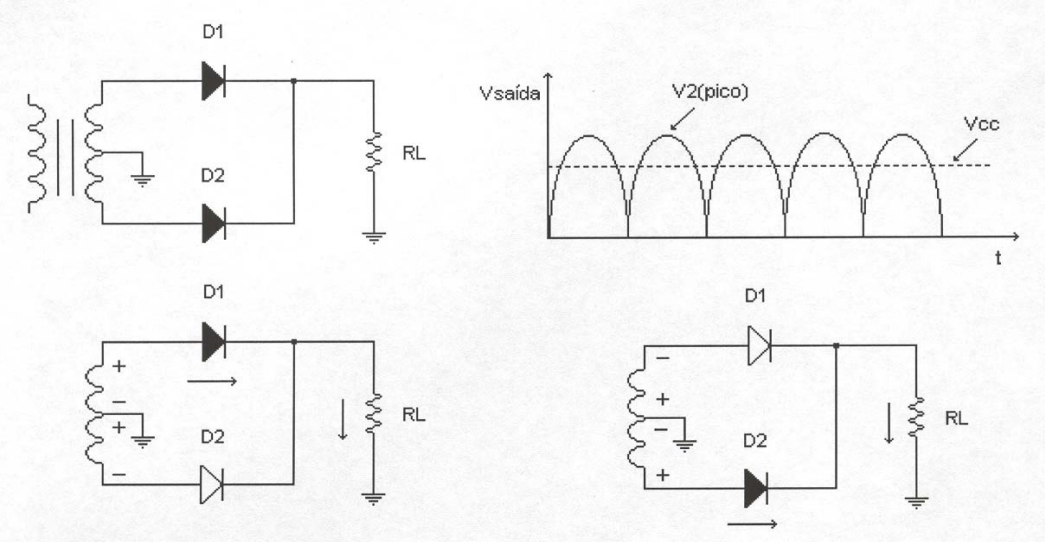


Fig. 106

Tensão Média

A tensão média de uma onda com retificação completa é o dobro da saída de um retificador de meia onda controlado pela mesma tensão no secundário:

$$V_{cc} = \frac{2 \times V_{saída\ (pico)}}{\pi} \quad \text{ou} \quad V_{pico} = 0{,}636 \times V_{(saída)}$$

Por exemplo: Se a tensão no secundário do trafo for de 12,6 V ca, a tensão de pico será de 17,8 V. Como a tensão aplicada em cada semi-ciclo é de apenas a metade, a tensão de pico sobre a carga será de 8,9 V. A tensão média será, portanto, de 0,636 x 8,9 = 5,66 V.

Especificação da corrente dos diodos

A corrente de carga será calculada dividindo a tensão cc sobre a carga pela resistência da carga. Por exemplo: se Vcc = 5,66 V e a resistência da carga for fixa igual a 10 &, a corrente de carga será igual a 0,566 A.
A corrente máxima dos diodos deverá ser apenas a metade disto, ou seja, 0,283 A, pois cada um deles só conduz metade da corrente de carga.

Frequência e tensão de pico inversa

No retificador de meia onda, a frequência da onda de saída é igual à frequência da onda de entrada, visto que cada ciclo da onda de saída corresponde a um ciclo da onda de entrada.
Já em um retificador de onda completa, a frequência da onda de saída é o dobro da frequência da onda de entrada

A tensão máxima inversa suportável por um diodo na configuração de onda completa mencionada anteriormente deve ser maior que a tensão total de pico no secundário do trafo.

Retificador em ponte

O retificador de onda completa em ponte está mostrado no desenho abaixo

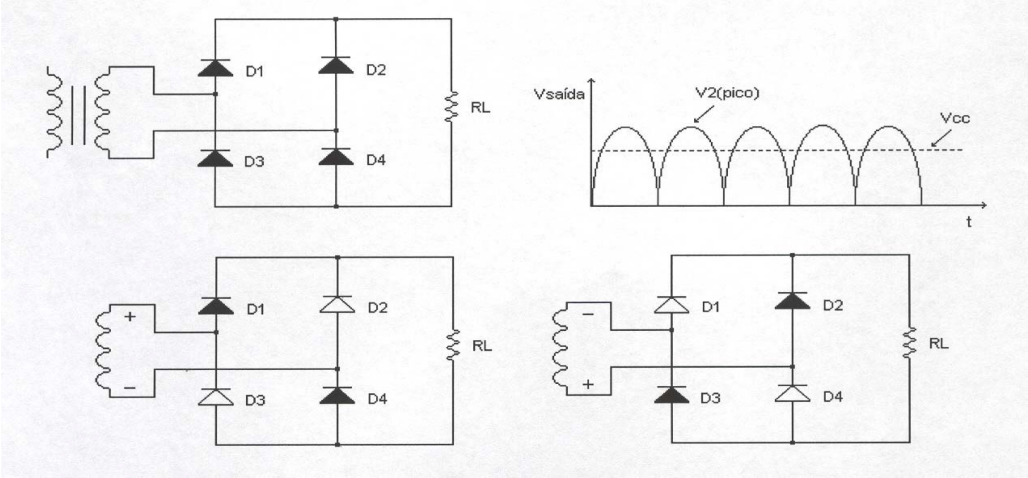


Fig. 107

Durante o semiciclo positivo da tensão no secundário, os diodos D2 e D3 estarão com polarização direta. Durante o semiciclo negativo da tensão no secundário, os diodos D1 e D4 estarão com polarização direta. Em qualquer dos dois semiciclos, a tensão na carga terá a mesma polaridade.

Tensão Média

Como a retificação é de onda completa, a tensão média na saída será de:

$$V_{cc} = \frac{2 \cdot V_{saída(pico)}}{\pi} \quad \text{ou} \quad V_{cc} = 0{,}636 \cdot V_{saída(pico)}$$

Toda a tensão do secundário é aplicada sobre a carga. Portanto, se tivermos uma tensão de secundário de 12,6 V ca, a tensão de pico será 17,8 V. A tensão cc sobre a carga será: 17,8 x 0,636 = 11,3 V.

O retificador em ponte elimina a necessidade de uma derivação central no trafo, mas obriga a utilização de dois diodos a mais.

Especificação

A corrente que cada diodo deve suportar deve ser pelo menos a metade da corrente cc de carga, visto que cada um conduz meio ciclo da onda.

A tensão de pico inversa para o diodo deve ser maior que a tensão de pico da onda do secundário do trafo.

A frequência do sinal de saída é o dobro da frequência do sinal de entrada. Se o sinal da entrada for o da rede, ou seja, 60 Hz, a saída terá uma frequência de 120 Hz.

Os retificadores em ponte são tão comuns que é possível encontra-los sob a forma de encapsulamento único, contendo os quatro diodos, e com dois terminais para a fonte e dois terminais para a carga.

Resumo de retificadores

	Meia Onda	Onda Completa	Ponte
Nº de diodos	1	2	4
Tensão de pico saída	V_{trafo} (pico)	0,5 * V_{trafo} (pico)	V_{trafo} (pico)
Tensão cc saída	0,318 * $V_{saída}$ (pico)	0,636 * $V_{saída(pico)}$	0,636 * $V_{saída(pico)}$
Tensão cc saída	0,45 * $V_{trafo(rms)}$	0,45 * $V_{trafo(rms)}$	0,9 * $V_{trafo(rms)}$
Corrente cc do diodo	I_{cc}	0,5 I_{cc}	0,5 I_{cc}
Tensão de pico inversa	V_{trafo} (pico)	V_{trafo} (pico)	V_{trafo} (pico)
Frequência da ondulação	$f_{entrada}$	2 * $f_{entrada}$	2 * $f_{entrada}$

9 FILTROS NAS FONTES DE ALIMENTAÇÃO

As tensões contínuas puras se caracterizam por apresentarem polaridade definida e valor constante ao longo do tempo.

As tensões fornecidas pelos circuitos retificadores, tanto de meia onda como onda completa são pulsantes. Embora tenham polaridade definida, não são ideais para alimentação de circuitos eletrônicos, haja vista que seu valor sofre constante variação pulsando conforme a tensão senoidal aplicada ao diodo.

O filtro em uma fonte de alimentação tem por finalidade eliminar esses pulsos e assim tornar a tensão cc de saída mais pura.

O Capacitor como Elemento de Filtro.

A capacidade de armazenamento de energia dos capacitores pode ser utilizada como recurso para realizar o processo da filtragem da tensão de saída de um retificador.

O capacitor é conectado diretamente nos terminais de saída da retificação, ficando em paralelo com a carga.

Quando o diodo estiver conduzindo irá circular corrente pela carga e também pelo capacitor, carregando-o com tensão igual ao valor fornecido pela fonte. Quando o diodo estiver cortado o capacitor irá se descarregar pela carga, fornecendo assim tensão a mesma.

Fig. 108 - Forma de onda da tensão na carga

Tensão De Ondulação.

O capacitor utilizado como filtro estará sofrendo sucessivos processos de carga e descarga.

Nos períodos de condução do diodo o capacitor sofre carga e sua tensão aumenta.

Nos períodos de corte do diodo o capacitor se descarrega e a sua tensão diminui.

A forma de onda da tensão de saída não chega a ser uma tensão contínua pura, apresentando uma variação entre um valor mínimo e um valor máximo denominado ondulação ou ripple.

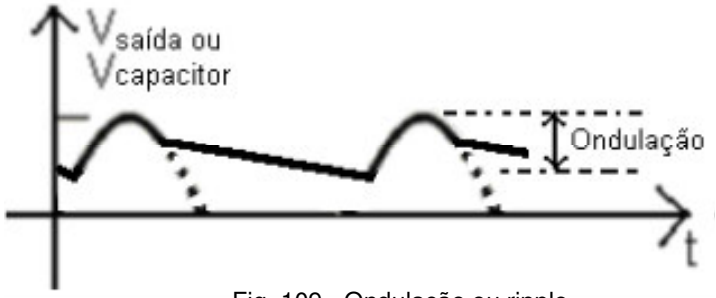


Fig. 109 - Ondulação ou ripple

A tensão de ondulação na saída de uma fonte também é denominada de componente ca de saída da fonte. Quanto menor for a componente ca de uma fonte, melhor será esta fonte.

Determinação do Capacitor de Filtro

A tensão de saída de uma retificação com filtro é dada por:

$$Vcc = Em - \frac{Vonopp}{2}$$

Onde:

Em = tensão cc máxima de saída;
Vonopp = componente ca de saída (ripple).

Pela equação verifica-se que a tensão de saída depende da tensão de ondulação. A tensão de ripple depende do tipo de retificador, do capacitor de filtro e da corrente na carga.

Observa-se que o ripple depende de vários fatores que estão relacionados entre si. Esta dependência torna difícil a formulação de uma equação exata que determine o valor do capacitor a ser utilizado como filtro para uma tensão preestabelecida.

Entretanto, devido a grande tolerância de valor dos capacitores eletrolíticos (até 50%) pode-se formular uma equação simplificada para o seu cálculo.

Esta equação pode ser utilizada para cálculo de capacitores de filtro para até 20% de ondulação de pico a pico sem introduzir um erro significativo.

$$C = \frac{T\ I^{\max}}{Vripple}$$

Onde:

C = valor do capacitor de filtro em ∝F;
T = período aproximado de descarga do capacitor;
Imax = corrente máxima na carga em mA;
Vripple = tensão pico a pico de ondulação em V.

Obs: Valor de tensão para 60Hz
Meia onda---------- tensão = 16,6ms;
Onda completa----- tensão = 8,33ms.

Além da capacitância do capacitor de filtro deve-se especificar a sua tensão de isolação. A tensão de isolação deve ser superior ao maior valor de tensão que o capacitor irá realmente funcionar.

Exemplo:

Determinar o capacitor de filtro para uma fonte retificadora de meia onda, com tensão de saída 12V, com uma corrente de 150mA, com ripple de 2Vpp.

$$C = \frac{T\ I^{\max}}{Vripple}$$

$$C = \frac{16\,6 \frac{ms\ 150mA}{\mathbf{1}\mathbf{Y}}}{}$$

C = 1.245 ∝F

Como a tensão de saída é de 12V devemos utilizar um capacitor com tensão de isolação de pelo menos 16V.

10 DIODO EMISSOR DE LUZ

E um tipo especial de diodo semicondutor que emite luz quando é polarizado diretamente.

O diodo emissor de luz, identificado comumente como DIODO LED é representado pelo símbolo apresentado na figura 110.

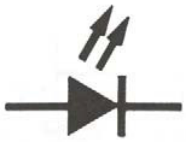


Fig. 110

Os diodos LED são encontrados com as mais diversas formas e dimensões. A figura 111 apresenta alguns tipos construtivos de diodos LED.

Fig. 111

O cátodo de um diodo LED pode ser identificado por um "corte" na base do encapsulamento (fig.112).

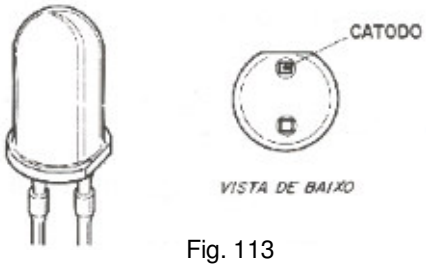


Fig. 113

O diodo LED é utilizado principalmente em substituição às limpadas incandescentes de sinalização, devido a uma série de vantagens que apresenta, tais como:

- Baixo consumo
- Nenhum aquecimento
- Alta resistência a vibrações -grande durabilidade

Corrente direta nominal (IF)

E um valor de corrente de condução indicado pelo fabricante no qual o diodo LEO apresenta um rendimento luminoso ótimo (normalmente 20mA).

Tensão direta nominal (VF,)

Especificação que define a queda da tensão típica do diodo no sentido de condução. A queda de tensão nominal (V F) ocorre no componente quando a corrente direta tem valor nominal (IF) (fig. 4).

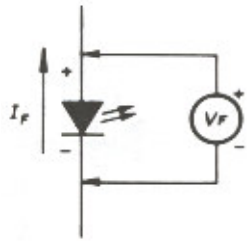


Fig. 114

Para valores de corrente direta diferente do valor nominal (IF) a tensão direta de condução sofre pequenas modificações de valor.

Tensão inversa máxima (VR)

Especificação que determina o valor de tensão máxima que o diodo LED suporta no sentido inverso sem sofrer ruptura.

A tensão inversa máxima dos diodos LED é pequena (da ordem de 5V) uma vez que estes componentes não tem por finalidade a retificação.

A tabela 2 apresenta as características de alguns diodos LED.

TABELA 2

LED	COR	V_F a I_F = 2OmA	I_F máx.
LD 30C	Vermelho	1,6V	100 mA
LD 371	Verde	2,4V	60 mA
LLD 351	Amarelo	2,4V	60 mA

Led bicolor

O led bicolor consiste, na verdade, de dois leds colocados dentro de uma mesma capsúla. Estes LEDs tem três terminais.

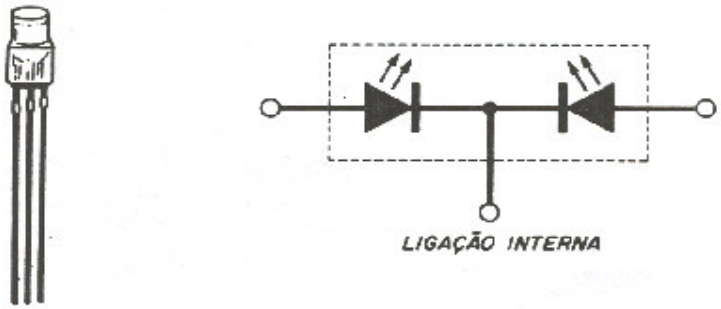


Fig. 114

Um dos terminais é comum aos dois LEDs. Dependendo da cor que se deseja acender. Polariza-se um dos diodos (fig. 115 e 116).

Fig. 115

Fig. 116

Led Infravermelho

A luz infravermelha é um tipo de luz que não é visível ao olho humano. Este tipo dê luz é usado principalmente em alarmes contra roubos e circuitos do gênero.

Existem diodos leds que emitem luz infravermelha. Estes leds funcionam como os outros, porém não se pode observar visualmente se estão ligados ou não.

Teste do diodo Led

Os diodos LED podem ser testado como um diodo comum, usando um multímetro na escala de resistência.

Em um sentido o teste deve indicar caixa resistência e, em outro, alta resistência.

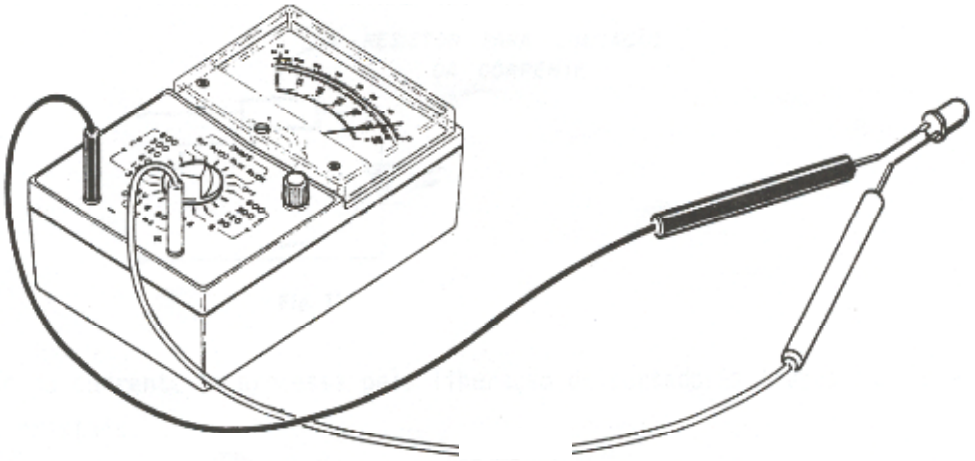


Fig. 9

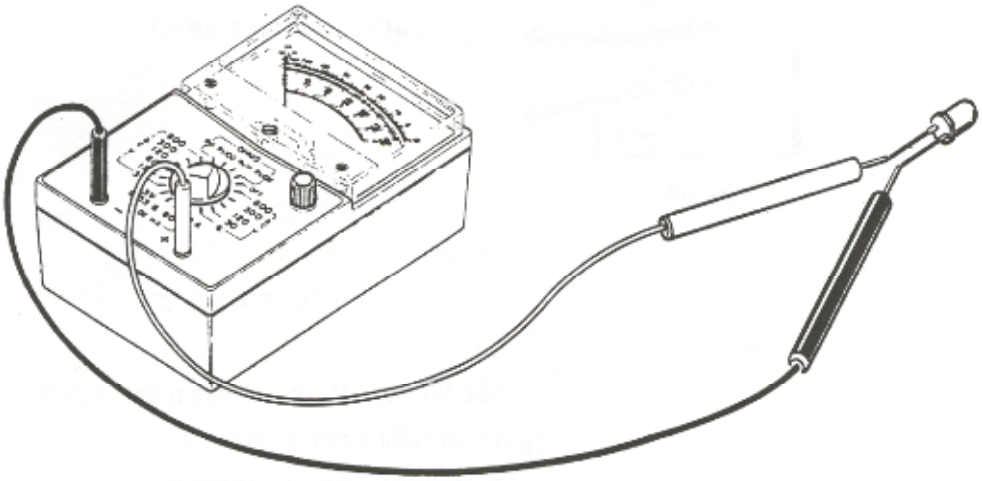


Fig. 117

OBSERVAÇÃO: Em alguns casos, dependo do multímetro utilizado para o teste, o LED acende durante o teste com polarização direta.

A identificação dos terminais ânodo e cátodo também podem ser feitos com o multímetro, da mesma forma que um diodo comum.

Funcionamento

Quando o diodo LED é polarizado diretamente entra em condução, permitindo a circulação de corrente (fig. 118).

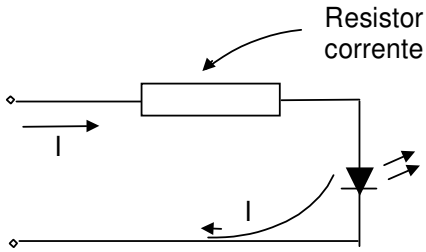


Fig. 118

A circulação da corrente se processa pela liberação de portadores livres na estrutura dos cristais.

O deslocamento de portadores da banda de condução provoca a liberação de energia(emissão de fótons) em forma de luz (fig.119).

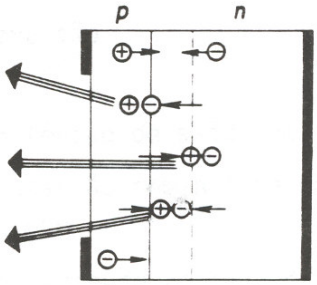


Fig. 119

Características dos diodos Led

As características importantes do diodo LED são:

- Corrente direta máxima (I FM)
- Corrente direta nominal (I F)
- Tensão direta nominal (UF)
- Tensão inversa máxima (UR)

Corrente direta máxima (IFM)

Especificação que define a corrente máxima de condução do diodo LED sem prejuízo para sua estrutura.

Utilização do diodo Led em CC

A aplicação do diodo LED em tensões continuas exige a fixação da sua corrente direta nominal (IF). A limitação da corrente pode ser feita através de um resistor. Afigura 120 apresenta um circuito retificador de onda completa que utiliza o diodo LED como indicador de fornecimento.

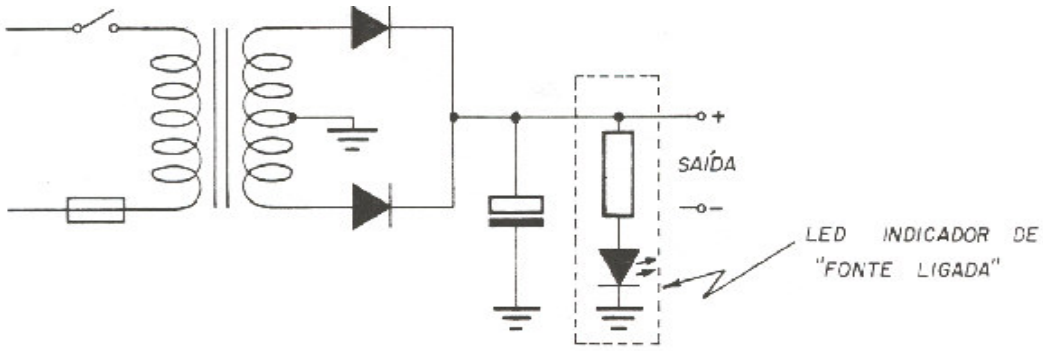


Fig. 120

O valor do resistor limitador é dado pela expressão:

$$R = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F}$$

Onde: VCC = tensão de saída da fonte
VF = tensão nominal de condução do diodo LED
IF =corrente nominal de condução do dio do LED

Tomando-se como exemplo a fonte retificadora da figura com os seguintes valores:
V = tensão de saída da fonte = 10V (por exemplo DIODO LED FLV 110).

COR	I_F (mA)	V_F (V)	I_{FM} (mA)
Vermelho	20	1,7	I 50

O valor do resistor seria

$$R = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} \qquad R = \frac{10 - 1,7}{0,02} = 415\&$$

R = 390 ou 470a em valores padronizados.

A potência do resistor seria aproximadamente.

$P_R = V_R \cdot I_R$ 8,3V . 0,02A = 166mW
para trabalhar a frio
P_R = 0,5W

11 DIODO ZENER

O diodo zener é um tipo especial de diodo utilizado como regulador de tensão. A sua capacidade de regulação de tensão é empregada principalmente nas fontes de alimentação, visando a obtenção de uma tensão de saída fixa.

diodo zener é essencialmente um regulador de tensão.

O diodo zener é representado nos diagramas pelo símbolo mostrado na figura 121.

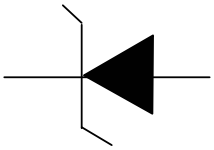


Fig. 121

Comportamento do diodo Zener

O comportamento do diodo zener depende fundamentalmente da forma como é polariza do.

- Com polarização direta
- Com polarização inversa

POLARIZAÇÃO DIRETA: com polarização direta o diodo zener se comporta da mes- ma forma que um diodo retificador, entrando em condução e assumindo uma queda de tensão típica.

A figura 122 mostra um diodo zener polarizado diretamente e a figura 3 mostra a curva característica de condução.

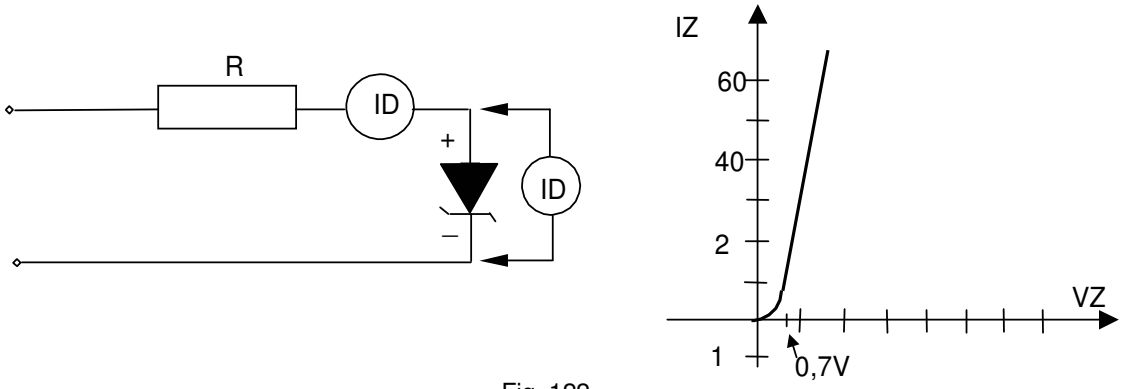


Fig. 122

Polarizado diretamente o diodo zener se comporta como um diodo retificador convencional.

Normalmente o diodo zener não é utilizado com polarização direta nos circuitos eletrônicos.

POLARIZAÇÃO INVERSA: Até um determinado valor de tensão inversa, o diodo zener se comporta como um diodo comum, ficando em bloqueio. No bloqueio, circula no diodo zeneruma pequena corrente de fuga, conforme mostra a figura 123.

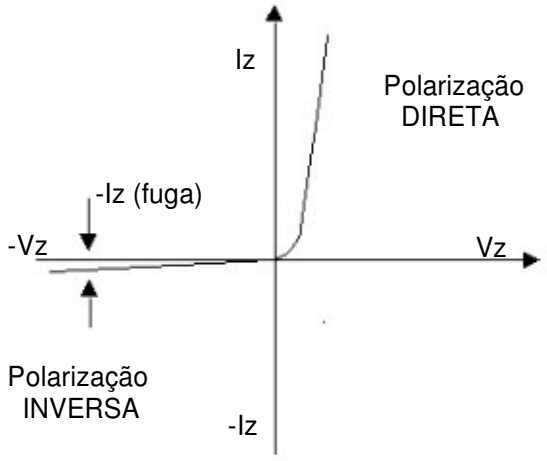


Fig. 123

O sinal negativo de Iz (-Iz) na figura 123 indica que esta corrente circula no sem tido inverso pelo diodo.

Em um determinado valor de tensão inversa, o diodo zener entra subitamente em condução, apesar de polarizado inversamente.

A corrente inversa aumenta rapidamente e a tensão sobre o zener se mantém praticamente constante (fig. 124).

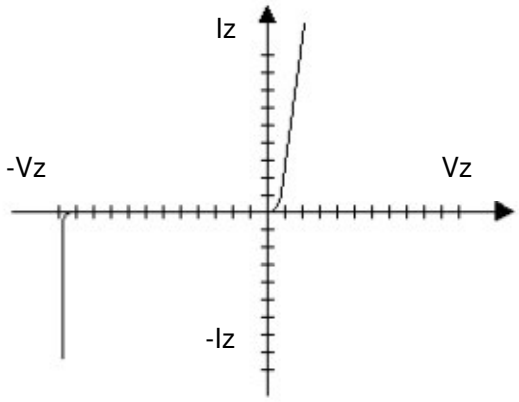


Fig. 124

O valor de tensão inversa que faz com que o diodo zener entre em condução é denominado de TENSÃO ZENER.

Tensão zener (Vz) *é a tensão que aplicada inversamente a um diodo zener provoca a sua condução.*

Enquanto houver corrente inversa circulando no diodo zener a tensão sobre seus ter minais se mantém praticamente no valor de tensão zener

O funcionamento típico do diodo zener é com corrente Inversa, o que estabelece uma tensão fixa sobre seus terminais.

É importante observar que, no sentido reverso, *o* diodo zener difere do diodo retificador convencional.

Um diodo retificados nunca chega a conduzir intensamente no sentido reverso e se isto acontecer o diodo estará em curto, danificado permanentemente. O diodo zener é levado propositalmente a conduzir no sentido reverso; visando obter a tensão zener constante sobre seus terminais, sem que isto danifique o componente.

Características do diodo Zener

As características elétricas importantes do diodo zener são:

a) Tensão zener
b) Potência zener
c) Coeficiente de temperatura
d) Tolerância

a) Tensão Zener: A tensão zener (tensão de ruptura) dos diodos zener depende do processo de fabricação e da resistividade da junção semicondutora. Durante a ruptura o diodo zener fica com o valor de tensão zener sobre seus terminais.

A tensão zener é a tensão que fica *sobre o componente na condição de funcionamento normal.*

Os diodos zener são fabricados para valores de tensão zener da ordem de 2V até algemas dezenas de volts. Este valor é fornecido pelo fabricante nos folhetos técnicos dos diodos zener.

b) Potência Zener: O diodo zener funciona na região de ruptura, apresentando um valor determinado de tensão sobre seus terminais (Vz) e sendo percorrido por uma corrente inversa (fig. 125).

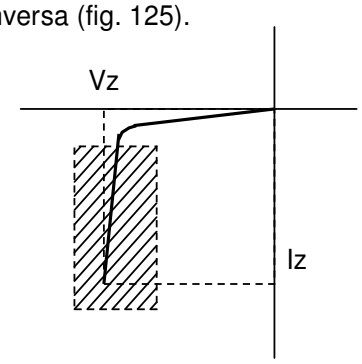


Fig. 125

Nestas condições verifica-se que o componente dissipa potência, em forma de calor. A potência dissipada ê dada pelo produto de tensão e corrente:

P = V . I
POTÊNCIA

⇒

Pz = Vz . Iz
POTÊNCIA ZENER

Os diodos zener são fabricados para determinados valores de potência de dissipação (0,4W, 1W, lOW). Estes valores determinam a dissipação máxima que o componente pode suportar. Cada diodo zener tem um valor de dissipação máxima que é fornecido pelo fabricante nos folhetos técnicos.

Utilizando os valores de tensão zener e potência zener máxima, fornecidos pelo fabricante, pode-se determinar a corrente máxima que o zener pode suportar.

$Pz = Vz \cdot Iz$ $\qquad$ $Pzmáx. = Vz \cdot Izmáx$

⇒

$$Izmáx = \frac{Pzmáx}{Vz}$$

Este valor da corrente não pode ser excedido sob pena de danificar o diodo zener por excesso de aquecimento.

Os diodos zener de pequena potência (até1W) podem ser encontrados em encapsulamento de vidro ou plástico enquanto os de maior potência são geralmente metálicos para facilitar a dissipação de calor (fig. 126 e 127).

Fig. 126

Fig. 127

A região de funcionamento do zener é determinada por dois valores de corrente, uma vez que sua tensão inversa é constante.

Estes valores de corrente são:

Iz máximo
Iz mínimo

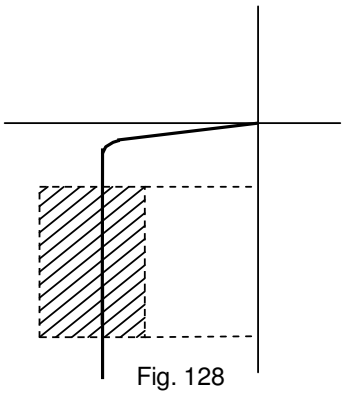
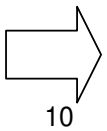


Fig. 128

O valor de Iz máximo e definido pela potência zener:

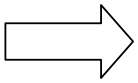
$$Iz\ máx. = \frac{Pz}{Vz}$$

O valor de Iz mínimo e definido como 10% do valor de Iz máximo.



$$Izmín = \frac{Izmáx}{10}$$

c) Coeficiente de Temperatura: Os diodos zener são fabricados com materiais semicondutores, que sofrem influência da temperatura nas suas condições de funcionamento (dependência térmica).



A tensão zener se modifica com a variação de temperatura do componente.

A influência da variação de temperatura na tensão zener.é expressa sob a forma de relação entre dois valores (tensão e temperatura). Esta relação define em quantos milivolts a tensão zener se modifica para cada grau centígrado de alteração da temperatura do componente.

COEFICIENTE DE TEMPERATURA

mV / °C

Devido a uma diferença no principio de funcionamento interno, os diodos zener sãs divididos em dois grupos:

TENSÃO ZENER	COEFICIENTE DE TEMPERATURA	SIGNIFICADO
Até 6V	-mV/°C	A tensão sobre o zener diminui Com o aumento da temperatura
Acima de 6V	+mV/°C	A tensão sobre o zener aumenta Com o aumento da temperatura

As curvas características da figuras 129 e 130 exemplificam a dependência térmica nos dois grupos de diodo zener.

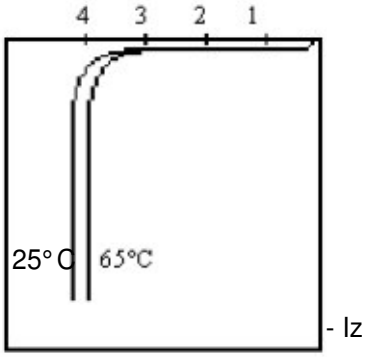


Fig. 129

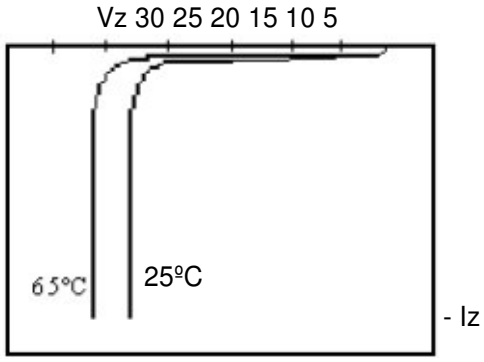


Fig. 130

OBSERVAÇÃO:

Os valores de tensão zener fornecidos pelo fabricante nos folhetos técnicos são válidos para a temperatura de 259C.

d) Tolerância: A tolerância do diodo zener especifica a variação que pode existir entre o valor especificado e o valor real de tensão reversa do diodo zener.

Isto significa que um diodo zener de 12V pode ter uma tensão reversa real, por exemplo, de 11,5V.
Para especificar a tolerância os fabricantes de diodo zener utilizam uma codificação:

- Tolerância de 5% - a designação do diodo zener vem acompanhada de uma letra A.

Exemplo: 1N4742 A

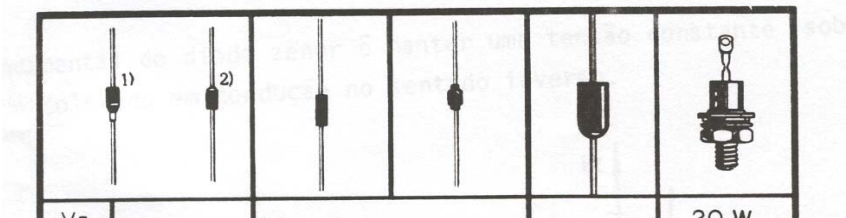
Consultando o manual de diodos zener se verifica que o diodo 1N4742 é de 12V, 1W. A letra H indica que pode existir uma variação de ±5° no valor de tensão do zener (de 11,4V a 12,6V).

- Tolerância de 10% - a designação do diodo vem sem letra no final.

Exemplo: 1N4733

Características 5,1V; 1W; 5°/ de tolerância (de 4,85V a 5,35V).

A tabela a seguir apresenta a especificação de alguns diodos zener:



Vz +5%	400 mV	1,3 W		2,5 W	20 W 10 W
1,4	BZX 76 C1V4				
2,1	@Iz=1mA C2V1				
2,8	C2V8				
3,3	DO.7 —				
3,6	C3V6				
3,9	—				
4,3	—				
4,7	BZX 79 C4V7		BZX 87 C5V1		@Iz=20mA
5,1	C5V1		C5V6		BZZ 14*
5,6	C5V6		C6V2		BZZ 15*
6,2	C6V2		C6V8		BZZ 16*
6,8	C6V8	BZX 61 C7V5	C7V5		BZY 93 C7V5
7,5	C7V5	C8V2	C8V2		C8V2
8,2	C8V2	C9V1	C9V1		C9V1
9,1	C9V1	C10	C10	BZX 70 C10	C10
10	C10	C11	C11	C11	C11
11	C11	C12	C12	C12	C12
12	C12	C13	C13	C13	C13
13	C13	C15	C15	C15	C15
15	C15	C16	C16	C16	C16
16	C16	C18	C18	C18	C18
18	C18	C20	C20	C20	C20
20	C20	C22	C22	C22	C22
22	C22	C24	C24	C24	C24
24	C24	C27	C27	C27	C27
27	C27	C30	C30	C30	C30
30	C30	C33	C33	C33	C33
33	C33	C36	C36	C36	C36
36	C36	C39	C39	C39	C39
39	C39	C43	C43	C43	C43
43	C43	C47	C47	C47	C47
47	C47	C51	C51	C51	C51
51	C51	C56	C56	C56	C56
56	C56	C62	C62	C62	C62
62	C62	C68	C68	C68	C68
68	C68	C75	C75	C75	C75
75	C75				
	DO-35 2)	DO-15	SOD-35	(Plástico)	DO-4

12 DIODO ZENER IDEAL X REAL

A característica fundamental do diodo zener é manter uma tensão constante sobre seus terminais quando colocado em condução no sentido inverso.

Diodo zener ideal é aquele que, em condução inversa, mantém a tensão absolutamente constante independente da corrente circulante.

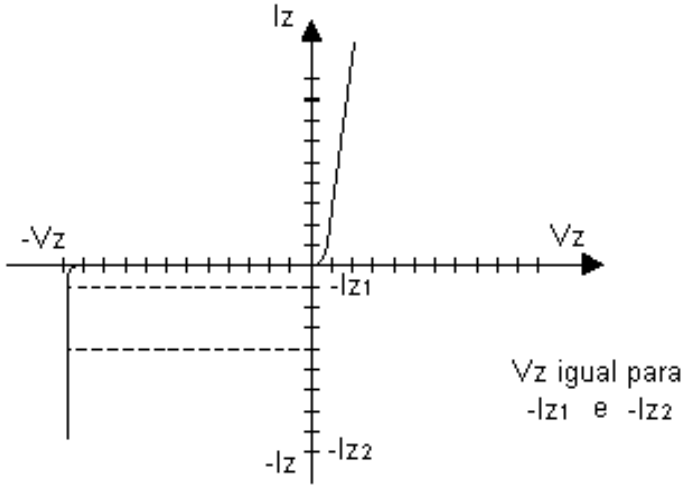


Fig. 131

Entretanto, o diodo zener não é um componente ideal, de forma que a tensão sobre os seus terminais sofre uma pequena variação quando a corrente inversa se modifica (fig. 132).

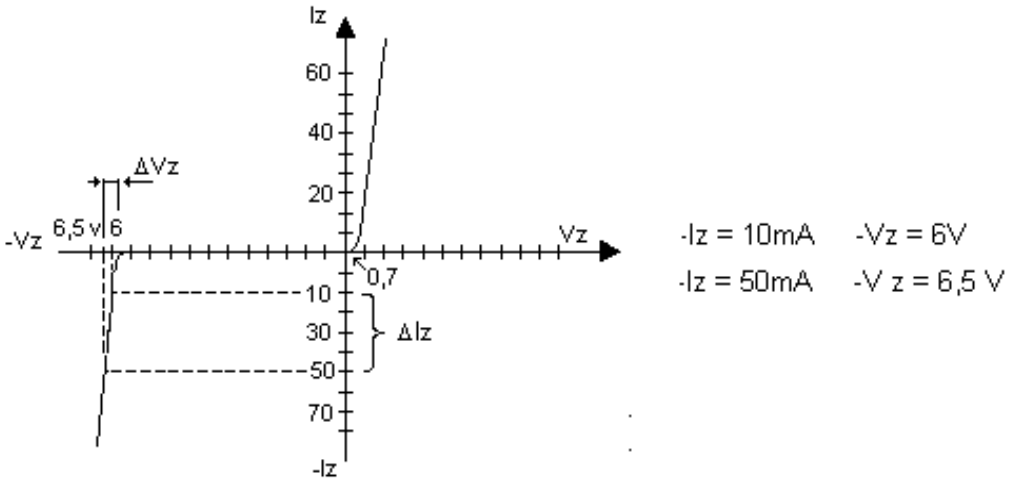


Fig.132

Porém, considerando que a variação em Vz é muito pequena, o diodo zener pode considerado como ideal na maioria das aplicações.

Relação entre corrente e resistência no diodo zener

Odiodo zener se caracteriza por apresentar uma tensão que pode ser considerada constante na região de ruptura. Considerando-se um diodo zener ideal, a tensão zener é constante ao longo da região de ruptura.

A figura 133 mostra a comparação entre as curvas características de um zener real e ideal.

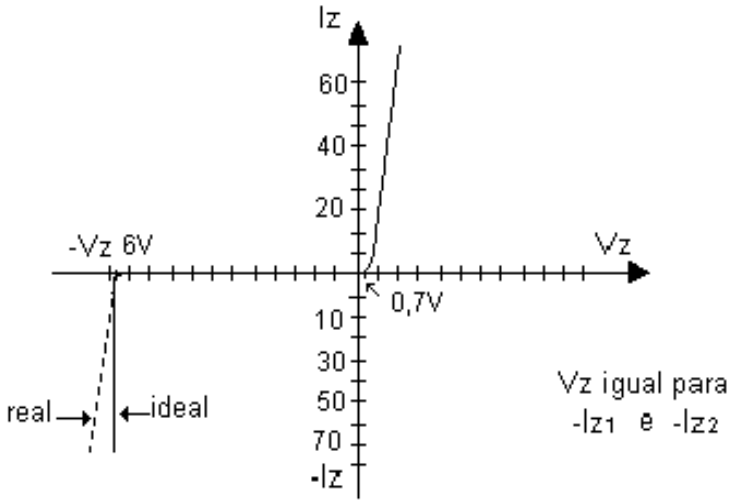


Fig. 133

Analizando o diodo zener ideal obtém-se urna relação importante para a compreensa do funcionamento deste componente nos circuitos eletrônicos: - a relação entre a corrente e resistência zener.

A lei de Ohm define a relação entre corrente, tensão e resistência em um dispositivo
I = E.

(R)

Como no diodo zener a tensão é constante, a relação fica resumida a corrente resistência.

Vz = Iz . Rz

Na equação acima, para que a tensão seja constante no zener, o produto I.R deve ser constante, ou seja:

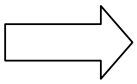
Se a corrente no diodo zener aumenta, sua resistência diminui na mesma proporção ou vice versa.

Vz = Iz . Rz
(const.)

Da mesma forma, se a corrente no diodo se reduz, sua resistência aumenta para que o produto (tensão) se mantenha constante. ~~~NSi)

Vz = Iz . Rz

(const.)



Na região de ruptura a corrente e a resistência zener são inversamente proporcionais. Quando uma aumenta, a outra diminui na mesma proporção.

13 TRANSISTOR BIPOLAR

O transistor bipolar é um componente eletrônico constituído por materiais semicondutores, capaz de atuar como controlador de corrente, o que possibilita o seu uso como amplificador de sinais ou como interruptor eletrônico.

A estrutura básica do transistor bipolar se compõe de duas pastilhas de material semicondutor, de mesmo tipo, entre as quais é colocada uma terceira pastilha, mais fina de material semicondutor com tipo diferente de dopagem.

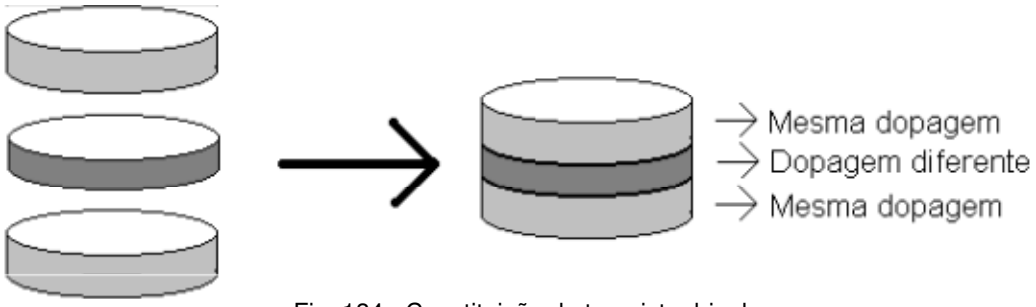


Fig. 134 - Constituição do transistor bipolar

Tipos de Transistores Bipolar

A configuração da estrutura, em forma de sanduíche, permite que se obtenha dois tipos distintos de transistores de transistores:

* Um com pastilhas externas do tipo N e interna do tipo P, denominado NPN;

* Outro com pastilhas externas do tipo P e interna do tipo N, denominado PNP.

Simbologia

A diferença entre os símbolos dos transistores é apenas no sentido da seta no terminal de emissor.

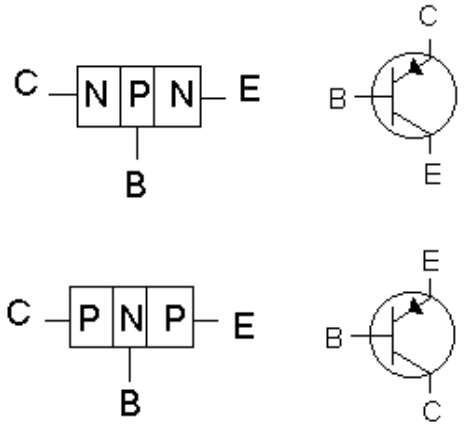


Fig. 135 - Simbologia dos transistores bipolares

Teste de Transistores

Analisando-se a estrutura dos transistores observa-se que entre a BASE e o COLETOR forma-se uma junção PN, que para fins de teste pode ser tratada como um diodo.

Da mesma forma, entre BASE e EMISSOR forma-se outra junção PN, que para fins de teste pode ser tratada como um diodo.

Sendo assim testar um transistor é verificar se há um curto ou abertura entre cada par de terminais (BE, BC e CE).

Transistor como Chave

O transistor como chave é utilizado na substituição de interruptores, com a vantagem de não possuir contatos mecânicos e poder ser chaveado por freqüências elevadas.

O transistor funcionando como chave opera na região de corte e saturação, sendo assim irá trabalhar segundo a lógica tudo ou nada.

* A região de corte é caracterizada por:

Junção BE }
}⇗ inversamente polarizadas.
Junção BC }

VCE = VCC

* A região de saturação é caracterizada por:

Junção BE }
}⇗ diretamente polarizadas.
Junção BC }

VBE > VCE

Assim para que um transistor atue como chave basta que se aplique corrente ou não ao terminal base.

Determinação dos Resistores

O resistor RC é calculado em função da corrente de coletor desejada. O valor de RC é dado por:

$$Rc = \frac{Vcc}{Ic} \qquad PRc = \frac{Vcc^2}{Rc}$$

O resistor RB tem por função limitar a corrente de base. Adota-se para IB um valor igual a 10% de IC, e é calculado segundo a equação:

$$V_B = \frac{V_B - V_{BE}}{0,1\ Ic} \qquad PR_B = \frac{(\quad)}{V_B - V_{BE}^2}$$

$$R_B$$

Eletrônica Básica

A escolha da chave (transistor) é feita da seguinte forma:

VCE > VCC

$I \quad \frac{V_{CC}}{V_{CEsat.}} \qquad \frac{V_{CC}}{P_{DT}} \qquad$ -> Na prática

$R_C \qquad R_C$

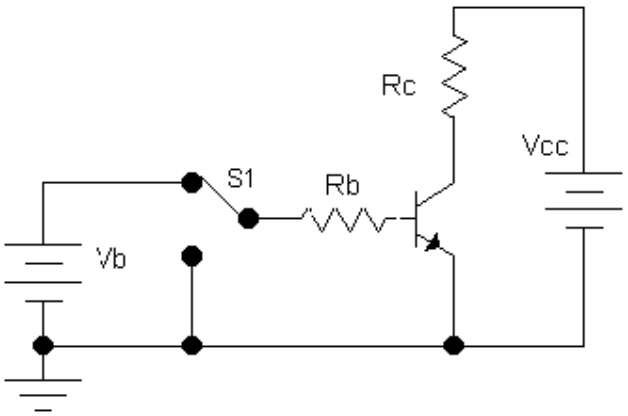


Fig. 136 - Polarização do transistor bipolar com chave

Transistor como Amplificador

O transistor como amplificador tem seu emprego na amplificação de sinais que poderão ser fornecidos por sensores ou quaisquer outras fontes de sinais de baixa intensidade.

Como amplificador o transistor atua na região ativa, que é caracterizada por:

- Junção BE diretamente polarizada;

- Junção BC inversamente polarizada;

VBE < VCE < VCC.

Determinação Dos Resitores Polarizadores

Para simplificar a analise matemática, podemos considerar algumas aproximações e estimativas, que em nada prejudicam os resultados obtidos, tais como:

IC = IE

® > 100

A tensão sobre o resistor de coletor RC e a tensão de alimentação estão relacionadas entre si. Neste tipo de estágio adota-se normalmente uma tensão no resistor de coletor igual ou próximo a metade da tensão de alimentação.

$$V_{RCO} = \frac{Vcc}{2}$$

A corrente I_{CO} nestes estágios assumem, normalmente, valores que variam entre 1 a 10mA.

$$Rc = \frac{V_{RCO}}{Ico}$$

Os resistores de base tem por função fornecer a tensão de base do transistor. Para que a junção base-emissor conduza, a tensão fornecida a base deve ser a tensão de condução da junção mais a tensão VRE.

Para que variações de corrente na base não interfiram na polarização do circuito, adota-se para a corrente no divisor tensão (ID) um valor igual a 10% de ICQ.

$$R = \frac{V}{V} \quad \frac{(\quad)V \quad V}{I^D \quad P}$$

$$R \quad \frac{V}{V} + = \quad I_D \quad P_{RB2} = \frac{(\quad)^2 V \quad V}{R_{B2}}$$

$I_D = 0,1.I_{CQ}$

O capacitor C1 tem por finalidade melhorar o ganho de tensão CA, que é sensivelmente prejudicado pela inclusão de RE.

No circuito amplificador a entrada de sinal será feita na base, através de um capacitor de acoplamento, e o sinal será retirado do coletor também através de um capacitor de acoplamento.

A resistência de emissor é dimensionada pelas seguintes equações:

$$R \quad \frac{(\quad)V}{I^{CQ}} \qquad P_{RE} = \frac{(\quad)^2 V}{R_E}$$

A escolha do transistor é feita da seguinte forma:

VCE > VCC

$$I \quad \frac{V_{CC}}{R + R} \quad E$$

$$P \quad \frac{(\quad)^2 V}{(\quad)R \quad R}$$

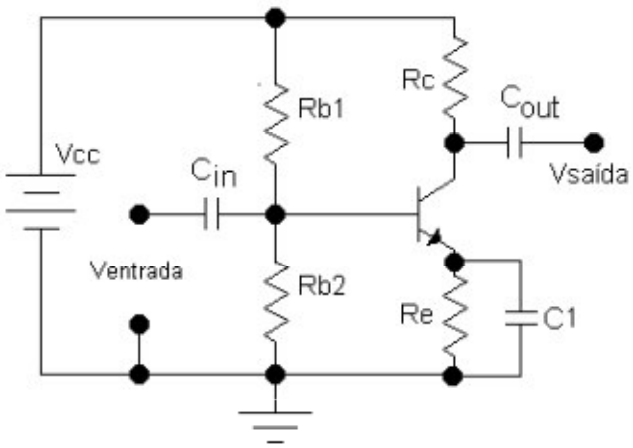


Fig. 137 - Polarização do transistor bipolar por divisor de tensão na base

14 TÓPICOS ESPECIAIS

Equipamentos De Bancada

São equipamentos destinados a alimentação e medição dos mais diversos circuitos eletrônicos, sendo utilizados tanto nos testes de protótipos bem como em manutenção e reparação de equipamentos defeituosos.

Gerador de função

É um equipamento que gera formas de onda quadrada, senoidal, triangular, dente de serra, etc. Estas formas de onda irão simular os sinais de entrada nos circuitos eletrônicos, com a finalidade de determinar se o circuito em questão está desempenhando sua função de maneira correta ou não.
Com a ajuda do gerador de funções fica mais fácil e preciso determinar a parte do circuito que está inoperante.

Fig. 138 Gerador de funções

Descrição de algumas funções do gerador:

Indicador de freqüência / tensão

Tem por função indicar a freqüência do sinal gerado, sendo isto feito em display de leds com 3 dígitos.

No caso de se utilizar a saída TTL deve-se multiplicar o valor lido no display por dois (2).
O display indica também a leitura de tensão, neste caso a indicação será feita em 3 1/2 dígitos.

Seletor de faixa de freqüência

Seleciona a máxima freqüência gerada pelo equipamento, ou seja, seleciona o fundo de escala.

Seletor de funções

Seleciona a forma de onda que será gerada e entregue em uma das saídas do equipamento.

Ajuste de freqüência

Proporciona um ajuste fino de freqüência dentro da faixa selecionada em (3).

Chave freqüência /voltímetro

Seleciona se o display irá mostrar a freqüência do sinal gerado ou se irá mostrar o valor de tensão cc lida.

Ajuste de nível de tensão cc (dc off set)

Determina o valor da tensão de referência, ou seja, determina se o sinal gerado irá ser colocado sobre 0Vcc (zero volts cc) ou qualquer outro valor de tensão positiva ou negativa.

Chave de liberação do ajuste de nível de tensão cc

Chave que libera ou não o ajuste de off set. Quando não liberado, o sinal de saída será sempre simétrico e em torno do nível zero.

Ajuste de amplitude

Determina o valor da tensão do sinal gerado.

Entrada de modulação de freqüência (Vco)

Entrada de tensão cc que irá modificar a freqüência do sinal gerado em função da amplitude da tensão presente neste terminal.

Saída de pulso compatível TTL

Saída que permite excitar circuitos em nível TTL, sendo assim a tensão nunca será superior a 5 Vcc.

Saída em baixa tensão (Lo out)

Saída do sinal gerado, com amplitude que varia de -1 V à +1 V.

Saída em alta tensão (Hi out)

Saída do sinal gerado, com amplitude que varia de -10 V à +10 V.

Osciloscópio

É um equipamento destinado a medição de tensões cc e ca. As grandezas medidas serão lidas sob a forma de figuras em uma tela. Estas figuras são formadas unicamente pelo movimento rápido de um ponto na horizontal e vertical, semelhante a um aparelho de TV.

O painel do Osciloscópio e a função de seus controles

Os controles do osciloscópio podem ser divididos em três grupos principais:

- Controles de ajuste do traço ou ponto na tela;

- Controles e entrada de atuação vertical;

- Controles e entrada de atuação horizontal;

Fig. 139 - Painel frontal do osciloscópio

Controles de ajuste do traço ou ponto na tela

Brilho ou luminosidade (Brightness ou intensity)

Ajusta a luminosidade do ponto ou traço. Em alguns osciloscópios está acoplado a chave liga/desliga.

Deve-se evitar brilho excessivo, pois a tela pode ser danificada.

Foco (focus)

Ajusta a nitidez do ponto ou traço luminoso, podendo ser ajustado para se obter um traço fino e nítido na tela. O brilho e o foco são ajustes básicos que são realizados sempre que se usa o osciloscópio.

Controles e entrada de atuação vertical

Entrada de sinal vertical (input)

Nesta entrada é conectada a ponta de prova do osciloscópio. As variações de tensão aplicadas nesta entrada aparecem sob a forma de figuras na tela do osciloscópio.

Chave de seleção do modo de entrada (ca-cc ou ac-dc)

Esta chave é selecionada de acordo com o tipo de forma de onda a ser observada. Em alguns osciloscópios esta chave tem três posições (ca-0-cc ou ca-GND-cc). A posição "0" ou "GND" é usada para a realização de ajustes do osciloscópio em algumas situações.

Chave seletora de ganho vertical (V gain ou V/div)

Através desta chave seletora é possível aumentar ou diminuir a amplitude de uma projeção na tela do osciloscópio. Para permitir um maior detalhamento da forma de onda.

Ajuste fino do ganho vertical (fine - variable ou vernier)

Tem a mesma função da chave seletora de ganho vertical mas, enquanto esta viria a amplitude em passos, o ajuste fino permite a variação linear da amplitude.

Posição vertical (position)

Permite movimentar a projeção mais para cima ou mais para baixo na tela. A movimentação não interfere na forma da figura projetada na tela.

Controles de atuação horizontal

Chave seletora na base de tempo (H. sweep)

É o controle que permite variar o tempo de deslocamento horizontal do ponto na tela. Através deste controle pode-se ampliar ou reduzir horizontalmente uma figura na tela. Em alguns osciloscópios esta chave seletora tem uma posição identificadora como EXT (externa) possibilitando que o deslocamento horizontal do ponto seja controlado por um circuito externo ao osciloscópio, através de uma entrada específica. Quando a posição externa é selecionada não há formação do traço na tela, obtendo-se apenas um ponto.

Ajuste Fino (Variable)

Este controle permite um ajuste mais preciso do tempo de deslocamento do ponto na tela. Atua em conjunto com a chave seletora da base de tempo.

Posição horizontal (H. position)

É o ajuste que permite centrar horizontalmente a forma de onda na tela. Girando-se o controle a forma de onda desloca-se para a esquerda ou para a direita.
Controles e entrada de sincronismo

São controles que permitem fixar a forma de onda na tela. Estes controles são utilizados principalmente na observação de sinais alternados. Estes controles
serão analisados por ocasião da utilização do osciloscópio na medida de tensão ca.

Os controles de sincronismo são:

Chave seletora de fonte de sincronismo;
Chave de modo de sincronismo;
Controle do nível de sincronismo.

Chave seletora de fonte

Seleciona onde será tomado o sinal de sincronismo necessário para fixar a imagem na tela do osciloscópio. Normalmente possui quatro posições:

CH1 - Sincronismo controlado pelo sinal do canal 1
CH2 - Sincronismo controlado pelo sinal do canal 2
Rede - Sincronismo baseado na freqüência da rede de alimentação do osciloscópio
Externo - Sincronismo controlado por equipamento externo ao osciloscópio.

Chave de modo de sincronismo

Normalmente esta chave tem duas ou três posições:

Auto - Nesta posição o osciloscópio realiza o sincronismo automaticamente, em função da fonte de sincronismo selecionada;
Normal + e Normal - Nestas posições o sincronismo é ajustado manualmente através do controle de nível de sincronismo (level).

Pontas de Prova

São utilizadas para interligar o osciloscópio aos pontos de medida. Uma das extremidades é conectada a uma das entradas do osciloscópio através de um conector e a extremidade livre é conectada aos pontos de medida.

A extremidade livre tem uma garra jacaré, denominada terra da ponta de prova, que deve ser conectada à terra do circuito, e uma ponta de entrada de sinal que deve ser conectada no ponto que se deseja medir.

Existem dois tipos de ponta de prova:

- Ponta de prova 1:1
- Ponta de prova 1:10

A ponta 1:1 aplica à entrada do osciloscópio a mesma tensão da forma de onda que é aplicada a ponta de medição, enquanto que a 1:10 atenua em dez vezes esta tensão.

15 CIRCUITO IMPRESSO

O circuito impresso é constituído por filetes de material condutor, fixos numa chapa de material isolante.

Os filetes substituem os condutores elétricos, nas ligações entre componentes,dos circuitos.

Algumas vantagens que o circuito impresso apresenta, em relação à montagem convencional, são:

- Eliminação da fiação de conexão entre os componentes.
- Padronização na montagem de circuitos em linhas de produção.
- Uniformidade na disposição dos componentes.
- Economia de espaço.
- Acesso fácil aos componentes para medições.
- Melhoria do acabamento final do circuito.

A figura 140 apresenta uma montagem realizada em placa de circuito impresso.

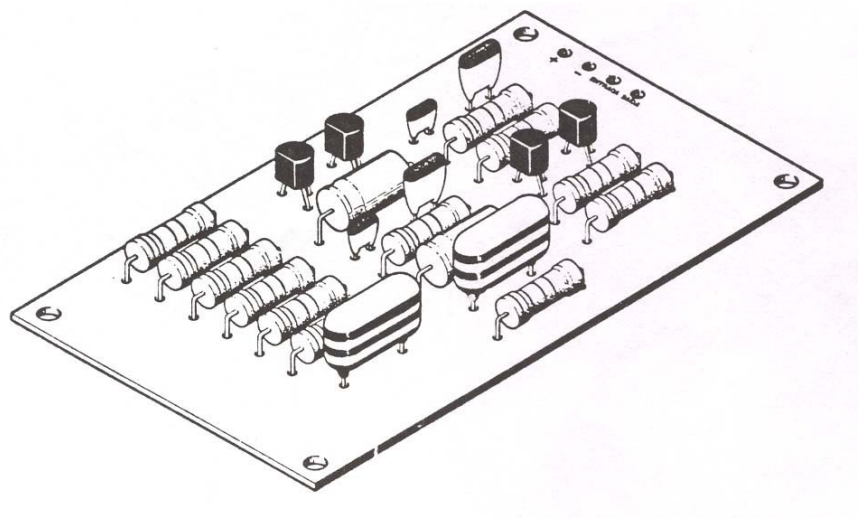


Fig. 140

Matéria prima

A matéria prima para confecção de um circuito impresso é uma chapa de material isolante recoberta em uma das faces por uma lâmina de material condutor (fig. 141).

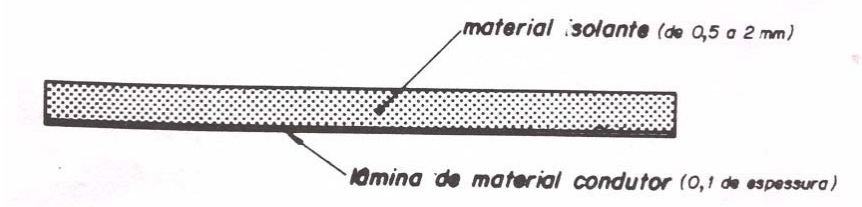


Fig. 141

Chapa de material isolante

A chapa de material isolante pode ser de fenolite ou fibra de vidro (fiberglass): Fenolite: material isolante de cor marrom ou parda com peque nas variações de tom. Encontrada em diversas espessuras (0,5mm a 2mm). Tem pouca rigidez mecânica. Fibra de Vidro: material isolante, levemente transparente com ótima rigidez mecânica e boa isolação elétrica. A espessura é de aproximadamente 1mm. É usada normalmente em linhas de produção industriais.

Material condutor

O material condutor utilizado para revestir uma das faces da chapa isolante é normalmente o cobre. Em circuitos mais sofisticados (equipamentos médicos, computação, etc.) onde é necessário alta confiabilidade no funcionamento a face cobreada é banhada em ouro para evitar oxidações e maus contatos.

As chapas de dupla face

Existem ainda placas para a fabricação de circuitos impressos cobreadas nas duas faces (fig. 142).

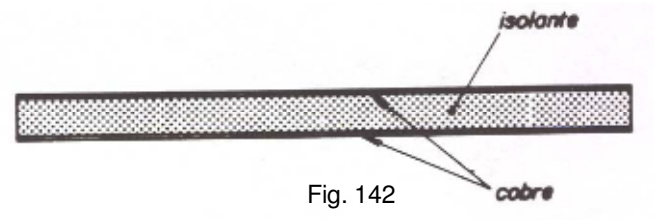


Fig. 142

Este tipo de placas ê utilizado em circuitos que contém um grande número de componentes e ligações, e que apresentariam dificuldades de execução em uma placa de face simples.

Interligação dos componentes

Quando a placa de circuito está pronta, a face cobreada não apresenta mais a camada de cobre em toda sua extensão.

No processo de fabricação o cobre é removido de determinadas regiões da placa. 0 resultado é a formação de trilhas de cobre que percorrem a placa (fig.143*).*

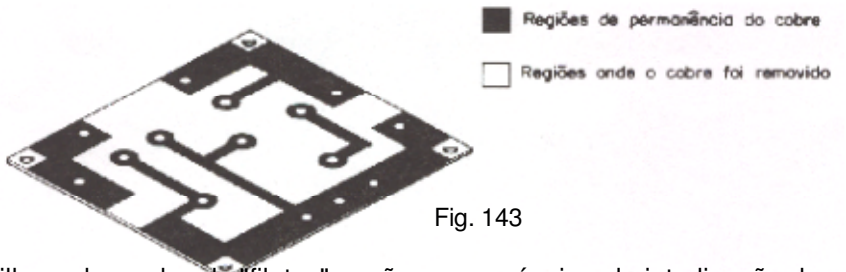


Fig. 143

As trilhas, chamadas de "filetes", serão responsáveis pela interligação dos componentes que compõem o circuito.

Todos os componentes que forem soldados a um filete de cobre estarão ligados eletricamente entre si tomo se houvesse um condutor de interligação.

As fiiguras 144 e 145 ilustram como acontece a substituição de uma ligação por condutor por uma ligação través de circuito impresso.

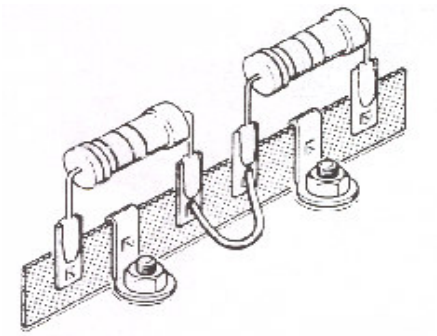


Fig. 144

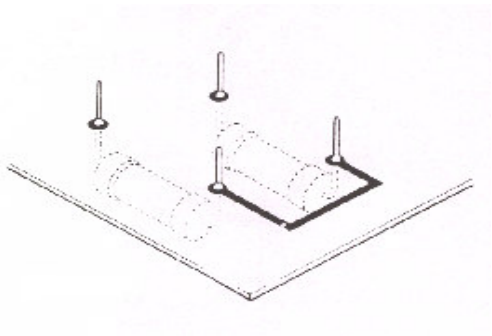


Fig. 145

A figura 146 apresenta uma vista em corte da ligação por filete entre os terminais de dois componentes.

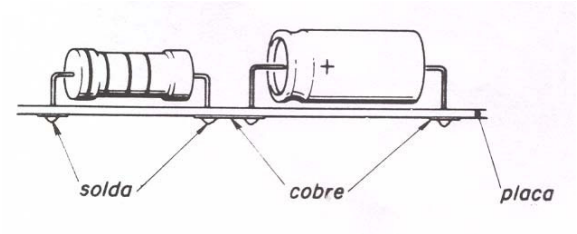


Fig. 146

16 PROJETO DE CIRCUITO IMPRESSO

O projeto de um circuito impresso consiste da elaboração do conjunto de desenho e informações que servirão como base para a execução do processo de fabricação e montagem de um circuito em placa de fenolite ou fibra de vidro cobreada.

Material necessário para o projeto

- Folha de papel quadriculado em milímetros ou décimos de polegada (fig. 147 e 148).

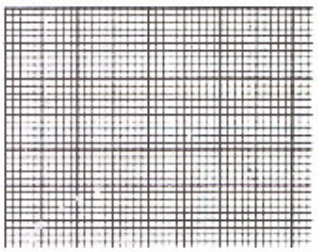


Fig. 147

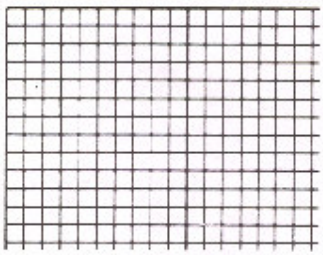


Fig. 148

- Esquema do circuito elétrico ou diagrama esquemático
- Componentes ou catálogos com suas dimensões, necessários, para que o projeto do circuito impresso seja feito levando em consideração o tamanho real dos componentes.
- Lápis
- Borracha e ou lápis borracha.
- Papel transparente (vegetal ou poliéster).
- Régua
- Gabarito de círculos.

Conteúdo do projeto

O projeto da placa, denominado LEIAUTE, consiste de um conjunto de desenhos e informações.

Os desenhos e informações que constituem o leiaute devem ser corretos e completos, de forma a conterem todas as indicações necessárias para a montagem do circuito e sua conexão com outros circuitos, fontes, painéis, etc.

A seguir estão apresentados alguns exercícios de desenhos e informações contidos em um leiaute.

Desenhos

Do esquema do circuito eletrônico (fig. 149).
Do lado cobreado do circuito impresso denominado de chapeado (Fig. 150).

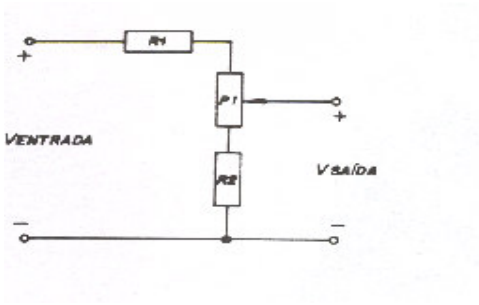


Fig. 149

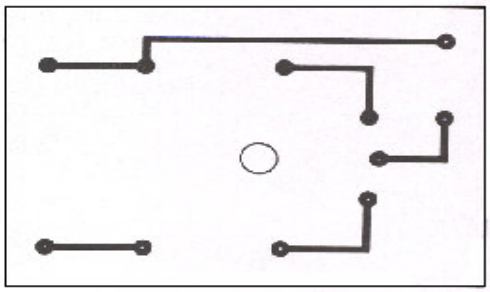


Fig. 150

- Do posicionamento dos componentes visto pelo lado da chapa de fenolite, denominada de “sistema equipado”.

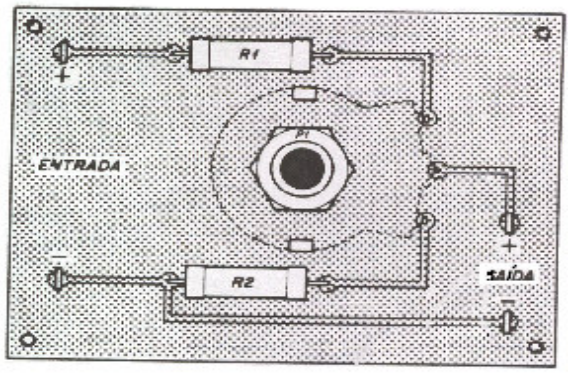


Fig. 151

- De detalhes construtivos e de fixação

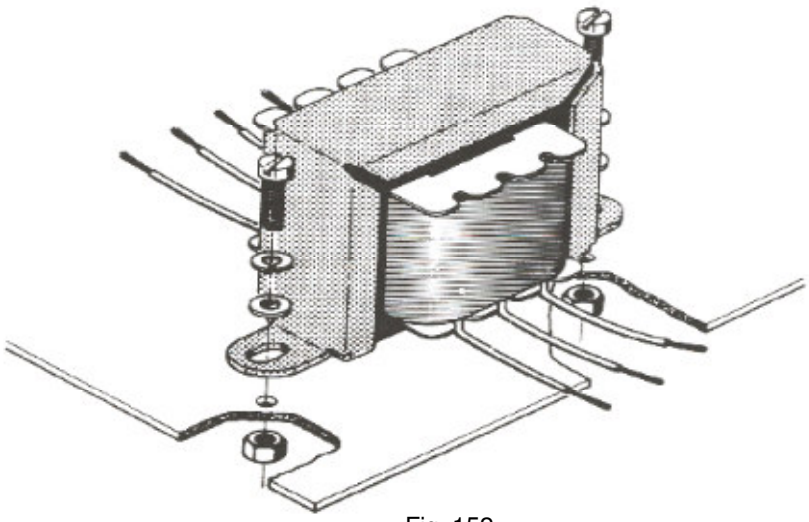


Fig. 152

Informações

- Lista de componentes.
- Observações de esclarecimento e manutenção.

Por exemplo:

tensões e sinais de entrada
tensões e sinais de saída
cuidados especiais

- Opcionalmente, pode-se incluir um desenho do posicionamento dos componentes visto pelo lado cobreado da placa, apresentados em forma de simbologia (fig. 153).

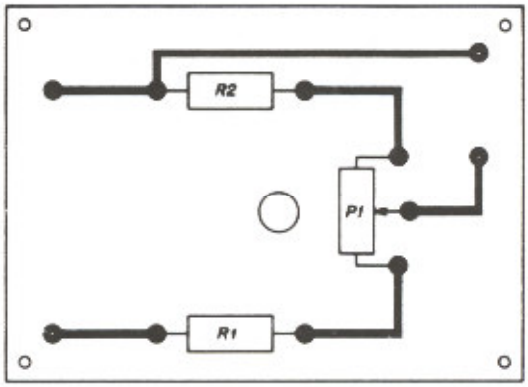


Fig. 153

A primeira providência com relação ao projeto do circuito impresso diz respeito ao circuito elétrico. Muitas vezes a forma de distribuição dos componentes no esquema não permite uma visualização da função do conjunto (fig. 154).

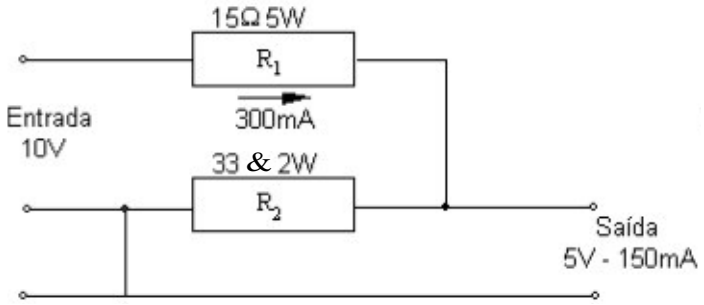


Fig. 154

Nestes casos deve-se proceder na reestruturacão do esquema ordenando os componentes para que o circuito apresente uma configuração que permita identificar facilmente a finalidade de cada um dos componentes no circuito.

A figura 155 apresenta o circuito da figura 154 reestruturado.

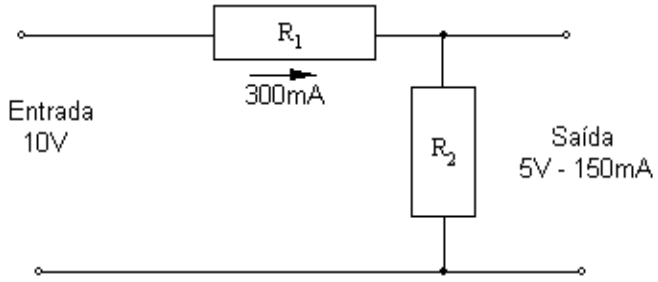


Fig. 155: É possível perceber claramente a configuração de um divisor de tensão

Itens a observar na execução do projeto de um circuito impresso

- Dimensões dos Componentes: O projeto da placa deve ser realizado de acordo com a dimensão real dos componentes que serão utilizados na montagem do circuito (fig. 156).

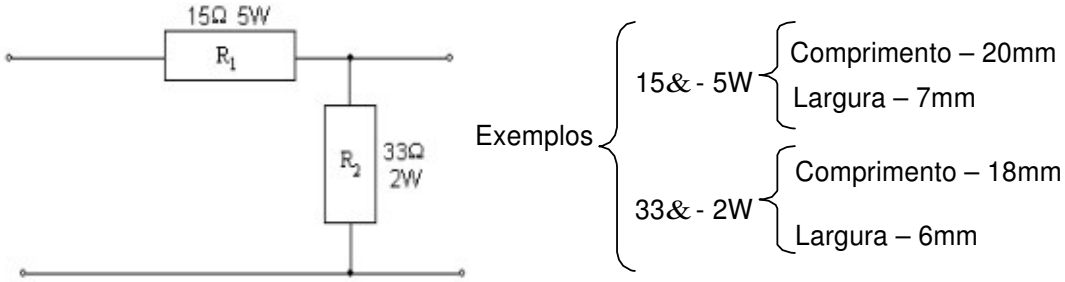


Fig. 156

- Largura dos Filetes de Cobre: A largura dos filetes de cobre depende da corrente circulante. A tabela abaixo apresenta a corrente de trabalho dos filetes, de acordo com sua largura.

Largura do filete em mm	Corrente em mA
1	306
2	612
3	965
4	1220
5	1540
6	1950
8	2450
10	3000
13	3900
17	5000

Tabela válida para chapa de cobre de 0,1mm de espessura (chapa convencional)

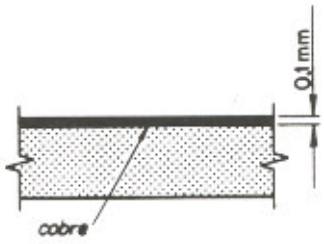


Fig. 157

No circuito do divisor de tensão as ligações de entrada operam com corrente de 300mA e as ligações de saída com corrente de 150mA.

De acordo com a tabela da página anterior as ligações de entrada devem ser de 1mm e as ligações de saída, menos de 1mm (fig.158)

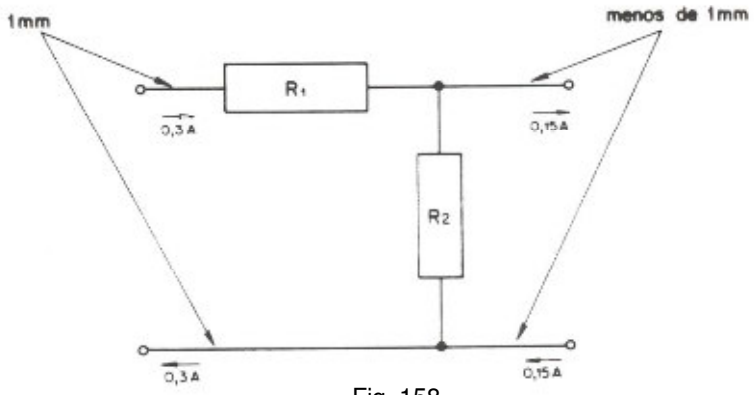


Fig. 158

Para facilitar o desenho no papel milimetrado não se deve adotar medidas "quebradas". Para o projeto do circuito impresso do divisor de tensão apresentado, pode se usar filetes de 1mm em todas as conexões.
Esta simplificação é muito utilizada porque facilita todo o projeto de circuitos impressos.

- Distanciamento entre dois filetes: A distancia entre os filetes depende da tensão existente entre eles.

A medida que a tensão entre dois filetes ê mais elevada torna-se necessário aumentar o afastamento entre os filetes para que haja uma isolação adequada entre os pontos do circuito.
Adota-se como regra uma distancia de 1mm para cada 100V de Diferença de tensão entre os filetes.
Isto significa que dois filetes adjacentes com uma diferença de tensão de 200V e devem ser separados por 2mm no mínimo. (fig. 159).

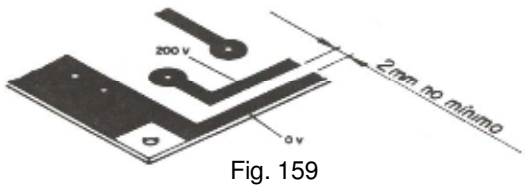


Fig. 159

Esta regra também é valida para circuitos onde existem picos de tensão.

No circuito do divisor de tensão apresentado, as tensões envolvidas estão todas abaixo de 100V. Pode-se então, neste caso, adotar como regra:

Distancia mínima entre os filetes - 1mm

Sistema de Fixação: Ao executar o projeto de um circuito impresso deve-se prever a forma como a chapa será fixada ao chassi ou à base de montagem.

De acordo com o sistema escolhido será feita a previsão dos pontos de fixação na chapa de circuito impresso.

Os sistemas de fixação mais utilizados são:

- Parafusos com espaçadores (distanciadores)

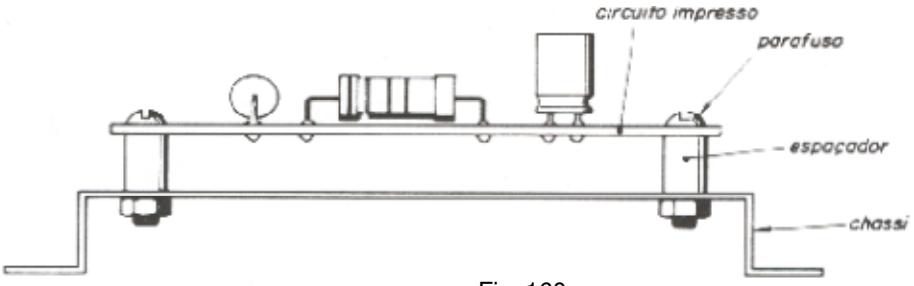


Fig. 160

- Por calços de fixação (fig. 22).

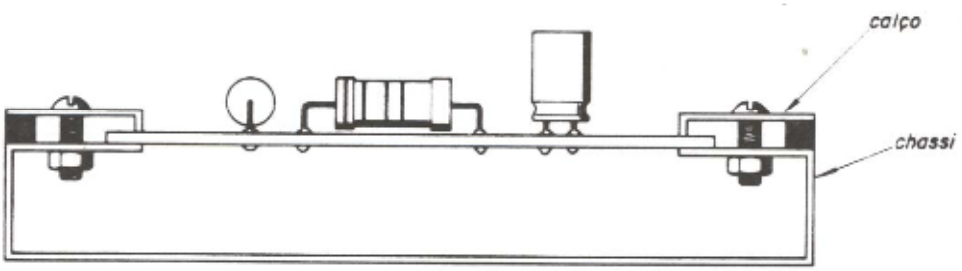


Fig.161

- Em "RACKS"

Para a utilização do sistema de fixação por "rack" todas as entradas e saldas da placa devem estar em um dos lados do circuito impresso.

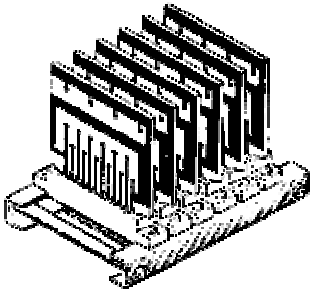


Fig. 162

- Por distanciadores de pressão (fig. 163).

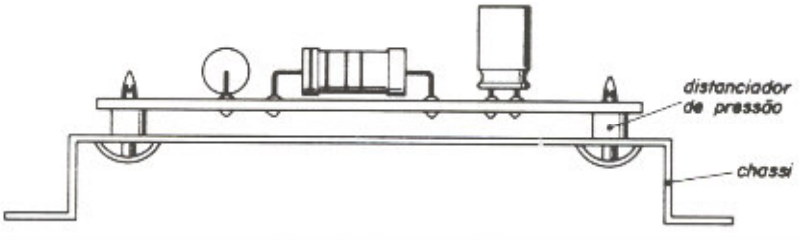


Fig. 163

OBSERVAÇÃO: Quando os contos de fixação forem distantes e a placa de circuito impresso estiver sujeita a vibrações e esforços deve-se utilizar placas de fibra de vidro.

Interligação da Placa: Ao executar o projeto da placa deve-se levar em consideração a forma como serão realizadas as conexões dos condutores de ligação para o circuito.

Os sistemas mais usuais de interligação da placa de circuito impresso com o restante do circuito são:

- Através de fios (figs. 164 e 165).

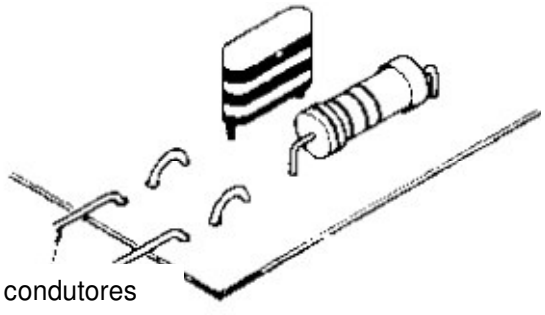


Fig. 164

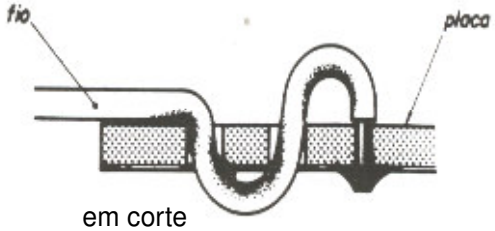


Fig. 165

- Através de terminais para circuito impresso (fig. 166).

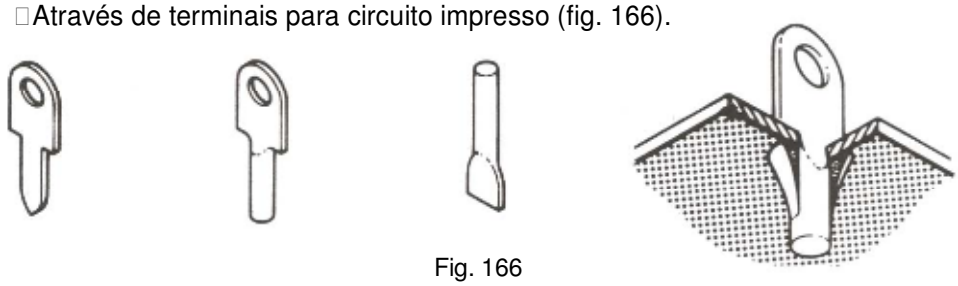


Fig. 166

- Através de conectores (figs. 167 e 168).

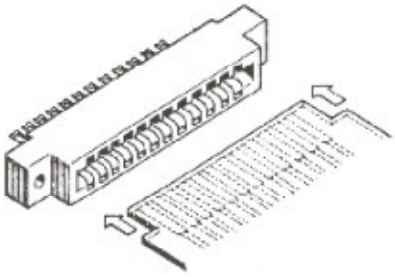


Fig. 167

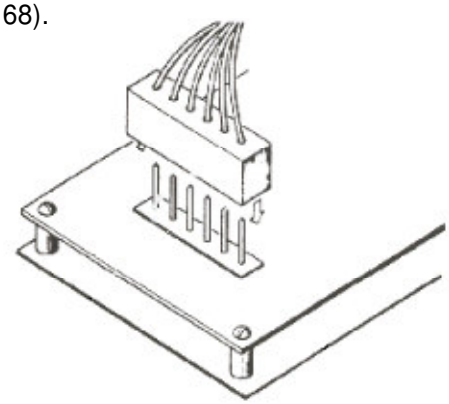


Fig. 168

OBSERVAÇÃO A Utilização destes sistemas implica na colocação de todas as entradas e saídas da placa em uma só região da placa, normalmente um dos lados.

Execução do projeto

Observados os itens necessários antes da execução, já têm-se pré-estabelecidos:

- A largura dos filetes
  A distância entre os filetes
  O sistema de fixação
  O tipo de placa cobreada
  O sistema de conexão

A partir destas informações pode-se executar o projeto da placa do circuito impresso no papel milimetrado.

Tomando como exemplo o divisor de tensão apresentado na figura 30:

Largura dos filetes : 1mm
Distância entre os filetes: 1mm no mínimo
Sistema de fixação: parafusos e espaçadores

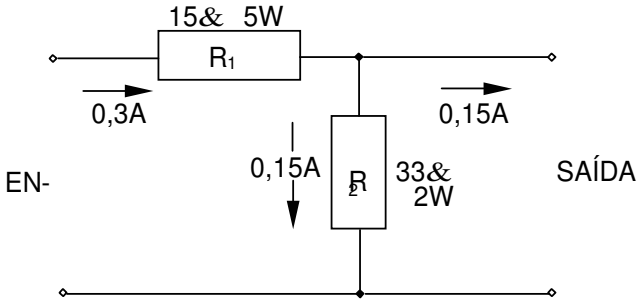


Fig. 169

1ª Etapa

Dispor os componentes sobre o papel milimetrado procurando ocupar o espaço da melhor forma possível.

Este procedimento permite determinar a área aproximada de chapa necessária para execução do circuito impresso (fig. 170):

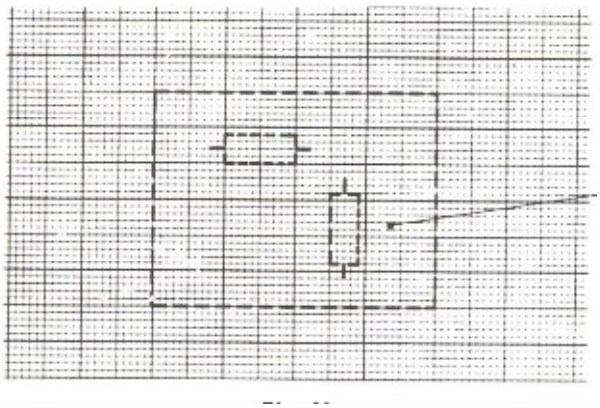


Fig. 170

2ª Etapa

Cortar o papel milimetrado em dimensões maiores que o tamanho estimado (1 cm a mais em cada lado) (fiz. 171).

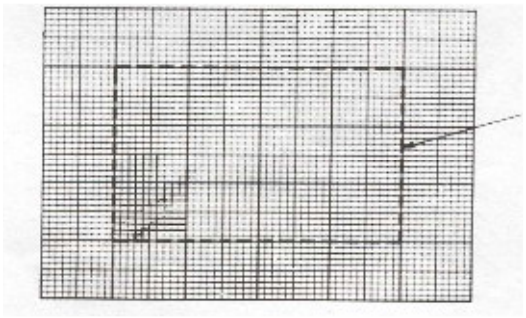


Fig. 171

As bordas do papel milimetrado devem ser cortadas no esquadro, aproveitando as linhas do papel como guia.

3ª Etapa

Cortar um papel transparente com o dobro da área do papel milimetrado (fig.172).

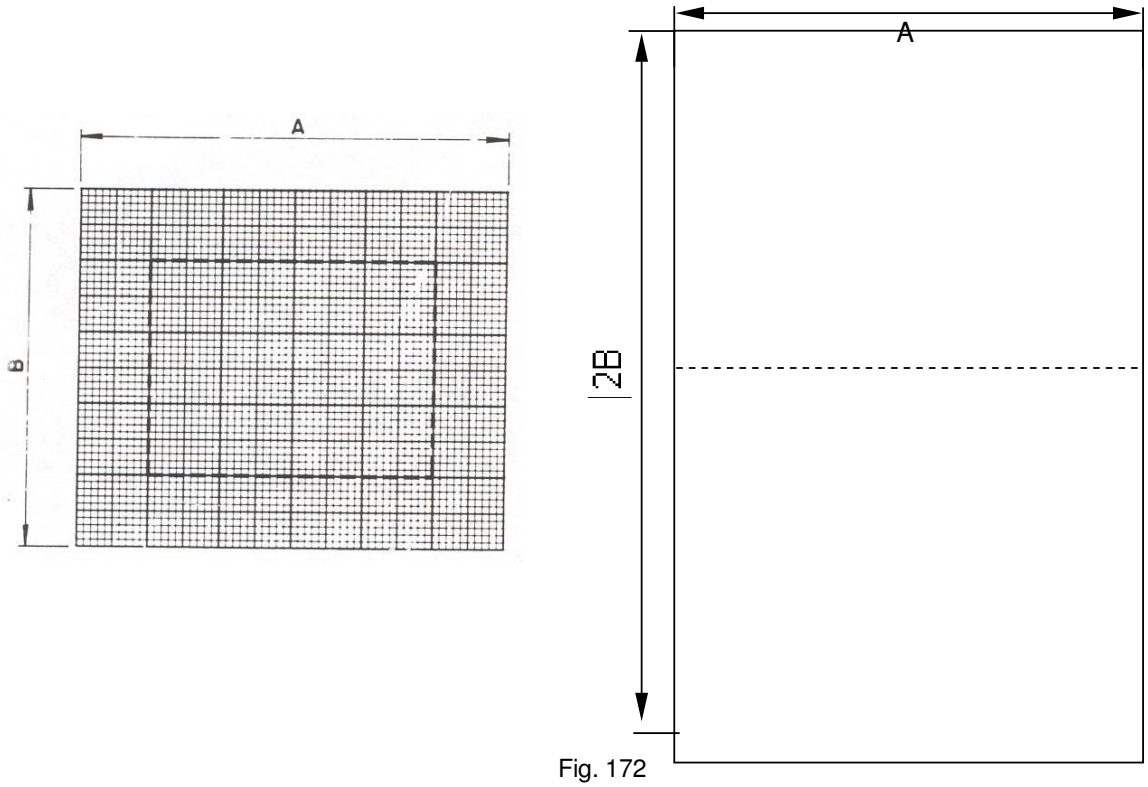


Fig. 172

4ª Etapa

Dobrar o papel transparente no meio (no esquadro) e introduzir o papel milimetrado entre duas faces (fig. 173).

Papel transparente

Papel milimetrado

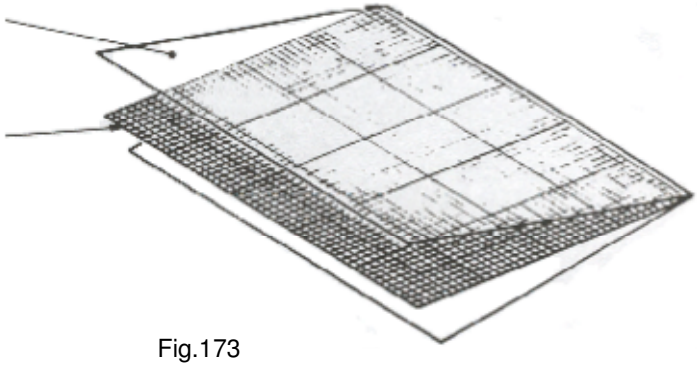


Fig.173

Através da transparência do papel pode-se visualizar as linhas do papel milimetrado, do que servirão como guia para o traçado do desenho do sistema equipado e da face cobreada do circuito (fig. 174).

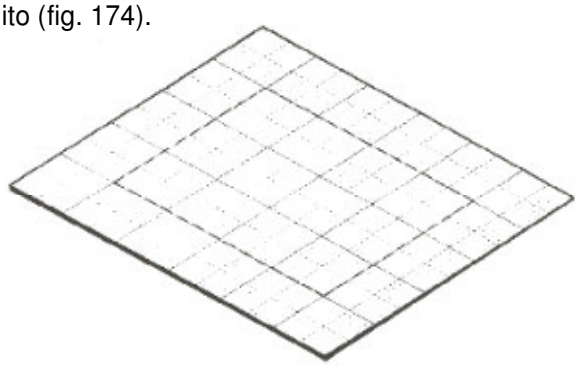


Fig. 174

5ª Etapa

Traçar sobre o papel transparente os contornos da chapa conforme o tamanho estime do desenhado no milimetrado (fig. 175).

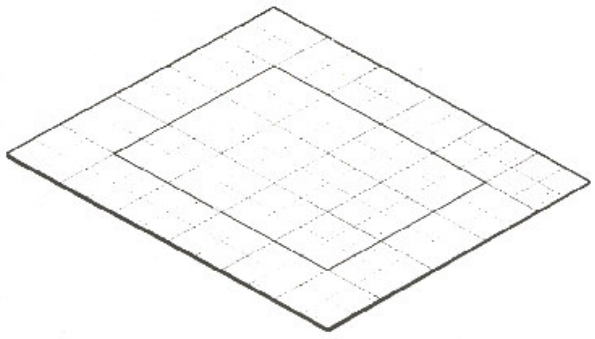


Fig. 175

6ª Etapa

Definir os espaços para fixação da placa, no desenho sobre o papel transparente, indicando o centro dos furos para fixação (fig. 176).

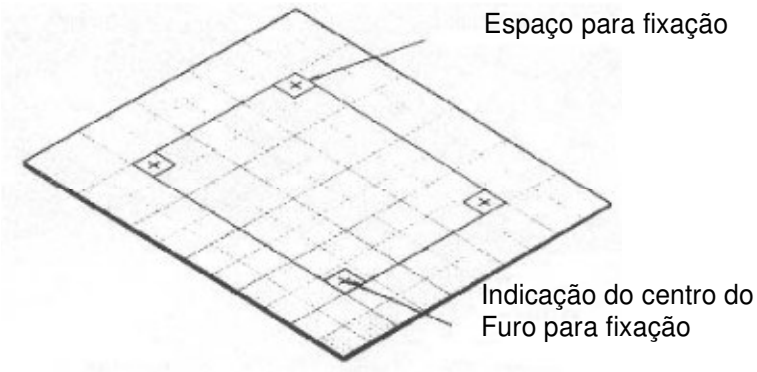


Fig. 176

Definida a área de chapa e os espaços para fixação está determinada a área útil da chapa para o projeto do circuito impresso (fig. 177).

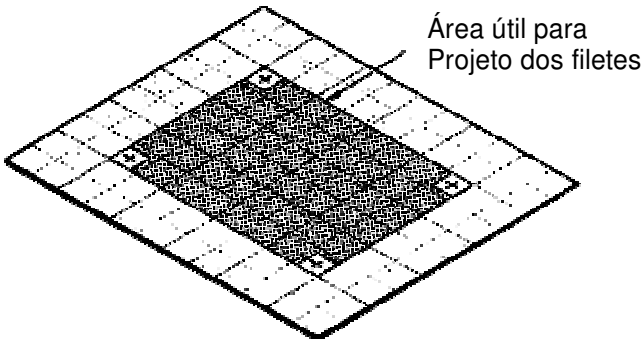


Fig. 177

7ª Etapa

Desenhar os componentes sobre o papel transparente, no tamanho real e na posição em que deverão ficar na placa (fig. 178).

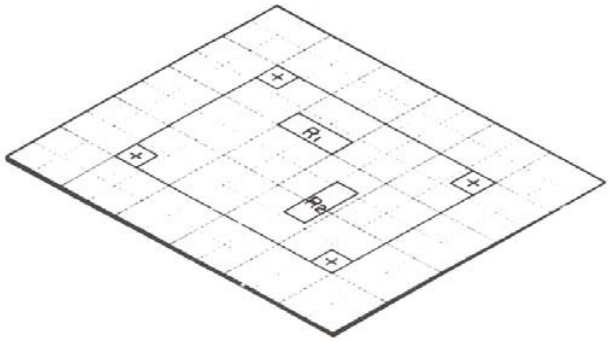


Fig. 178

8ª Etapa

Definir a posição dos furos para entrada dos terminais dos componentes. Estes furos devem ficar afastados do corpo do componente no mínimo 2mm para que os terminais possam ser dobrados corretamente na montagem (fig. 179).

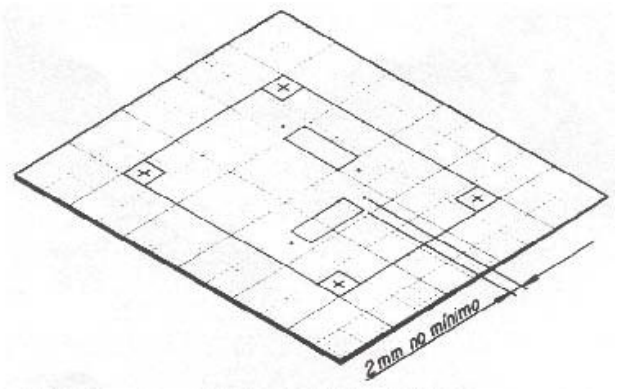


Fig.179

9ª Etapa

Definir a posição dos terminais de entrada e saída para interligação da placa de circuito impresso (fig. 180).

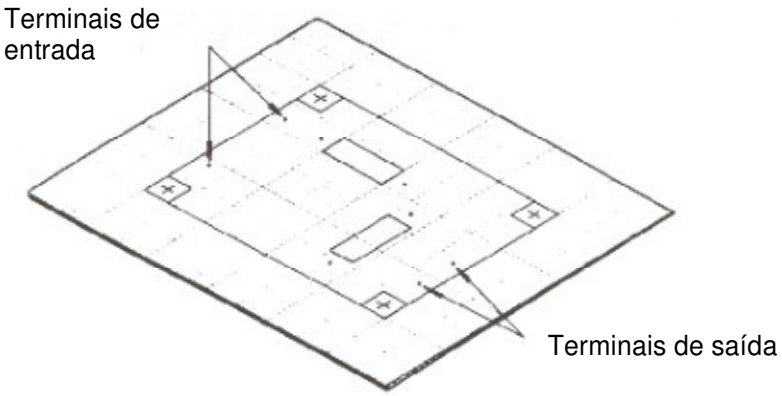


Fig. 180

A posição dos terminais depende do sistema de interligação &cotado. Quando o sistema de conexão for por conectores todas as saídas e entradas deverão ser posicionadas em um dos lados da placa (por exemplo, conforme a figura 181).

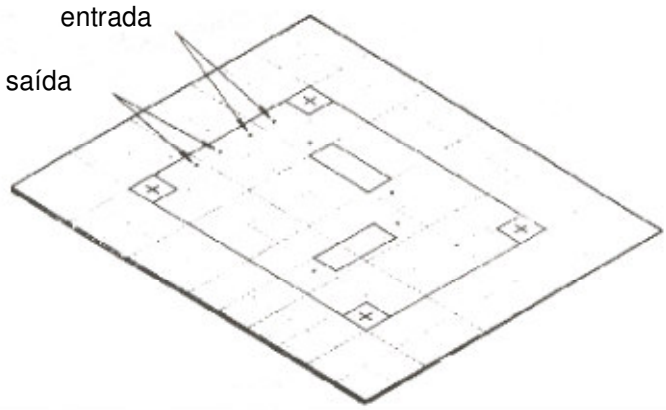


Fig. 181

Concluídas as etapas anteriores o projeto da placa vista pelo lado dos componentes (sistema equipado) estará concluída.

Passa-se então ao projeto da face cobreada (chapeado) do circuito impresso.

10ª Etapa

Retirar o papel milimetrado do meio do papel transparente.

11ª Etapa

Virar o papel transparente, dobrado, com a face desenhada para baixo (fig. 182).

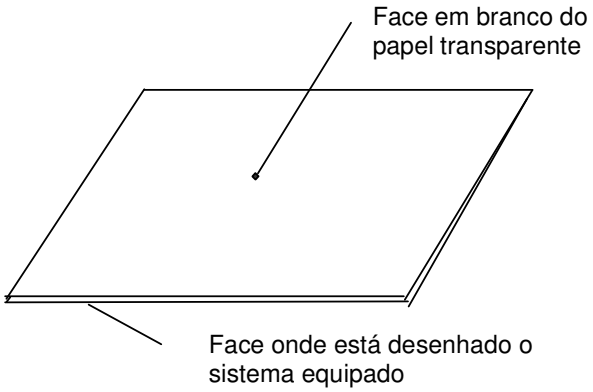


Fig. 182

Pela transparência do papel é possível visualizar levemente o desenho do sistema equipado (fig. 183).

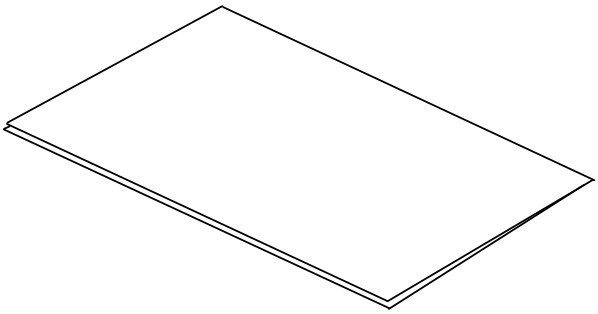


Fig. 183

12ª Etapa

Traçar na face em branco do papel transparente, os contornos da chapa de impresso, as áreas de fixação e o centro para os furos de fixação, utilizando a transparência do papel (fig. 184).

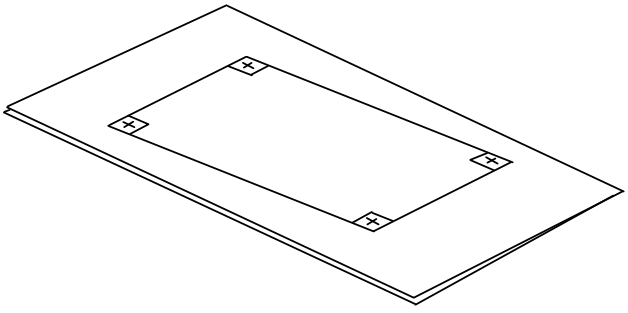


Fig.184

13ª Etapa

Marcar a posição dos terminais de entrada e salda do circuito e a posição dos ter minais dos componentes (fig. 185).

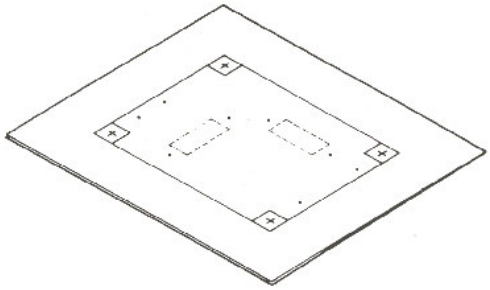


Fig. 185

14ª Etapa

Colocar o papel milimetrado no interior do papel transparente (fig. 186).

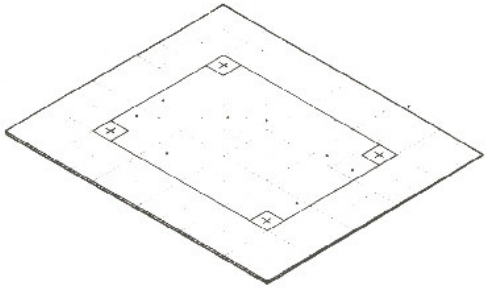


Fig. 186

15ª Etapa

Estabelecer, com traços leves a interligação entre os componentes sobre o papel transparente, usando como guia as linhas do papel milimetrado. Se for necessário, pode-se numerar as ligações no esquema e no desenho para facilitar a identificação (fig. 187).

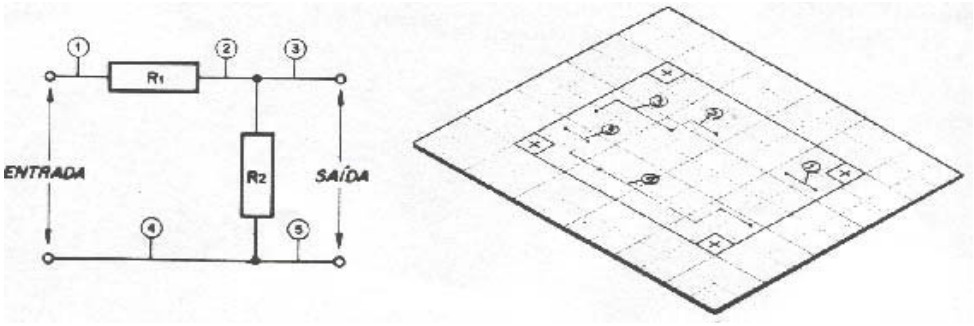


Fig.187

As interligações entre os componentes devem ser sempre paralelas as bordas. Se isto não for possível pode-se utilizar ligações inclinadas a 45º. No exemplo do divisor todas as ligações entre os componentes podem ser feitas por linhas paralelas às bordas.

16ª Etapa

Desenhar levemente um pequeno círculo (denominado de ilha) envolvendo os pontos onde serio soldados os terminais dos componentes e os terminais de entrada e saída (fig. 188)

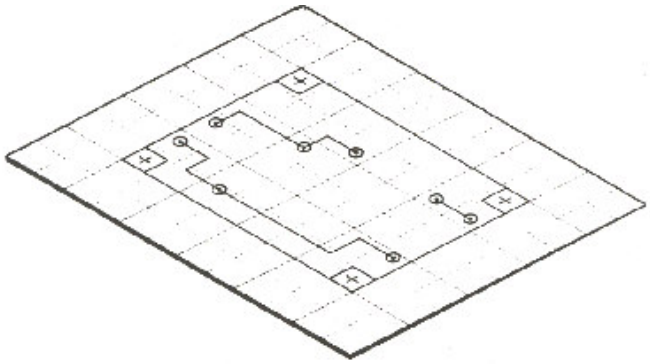


Fig. 188

Os círculos podem ser desenhados usando-se um gabarito.

O alargamento das áreas ao redor dos furos permite a obtenção de uma superfície maior, para aderência da solda na montagem do circuito.

17ª Etapa

Desenhar levemente as ligações entre os pontos usando como guia os traços leves que determinam as interligações entre os pontos no desenho.

As ligações devem ser feitas com a largura estabelecida em função da corrente do circuito.

No circuito exemplo do divisor, os filetes devem ter 1mm de largura (fig. 189).

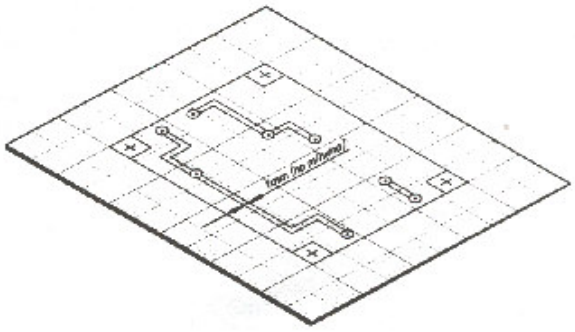


Fig. 189

Os filetes podem ser mais largos que 1mm, porém não mais estreitos, no exemplo do divisor (fig. 190).

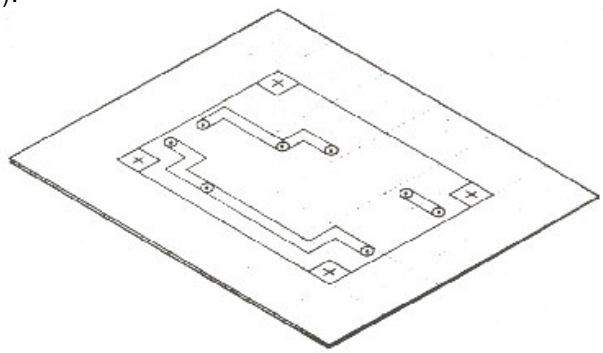


Fig. 190

18ª Etapa

Reforçar os contornos dos filetes e círculos (fig. 191).

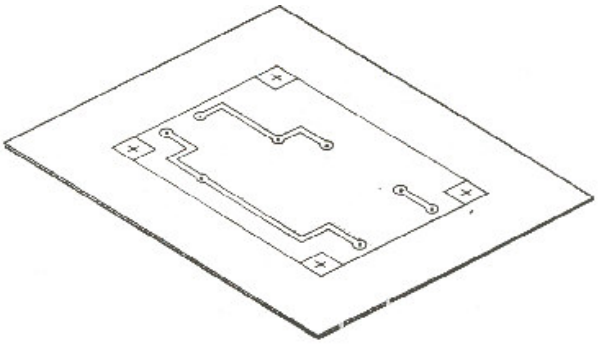


Fig. 191

Retirando-se o papel milimetrado e observando-se o papel transparente dobrado, são visíveis ao mesmo tempo o chapeado e o sistema equipado. Observando-se o desenho pelo lado do sistema equipado, é possível conferir facilmente o projeto (figs. 192 e 193).

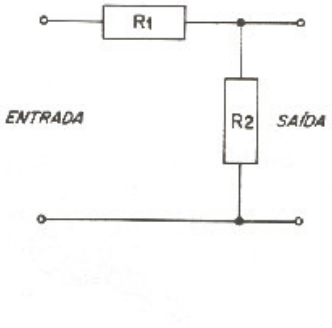


Fig. 192

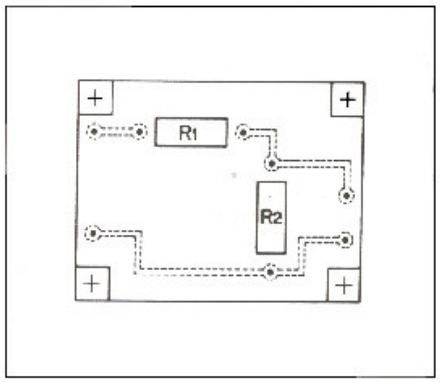


Fig. 193

Abrindo-se o papel transparente estão configurados:

- O chapeado
- O sistema equipado

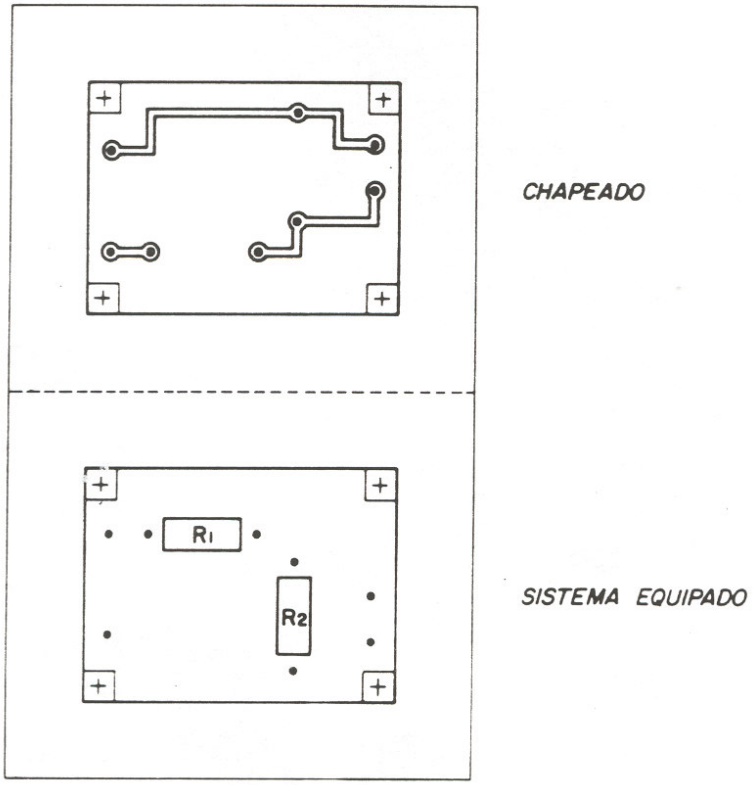


Fig. 194

Complementação do projeto

Além do esquema elétrico e dos desenhos do chapeado e sistema equipado, fazem parte do projeto final:

- Detalhes de fixação
- Lista de materiais (completa)
- Informações técnicas que auxiliam na montagem, ligação ou reparação do circuito.

A página seguinte apresenta o projeto final completo do circuito impresso para o divisor de tensão.

Projeto de circuito impresso para divisor de tensão

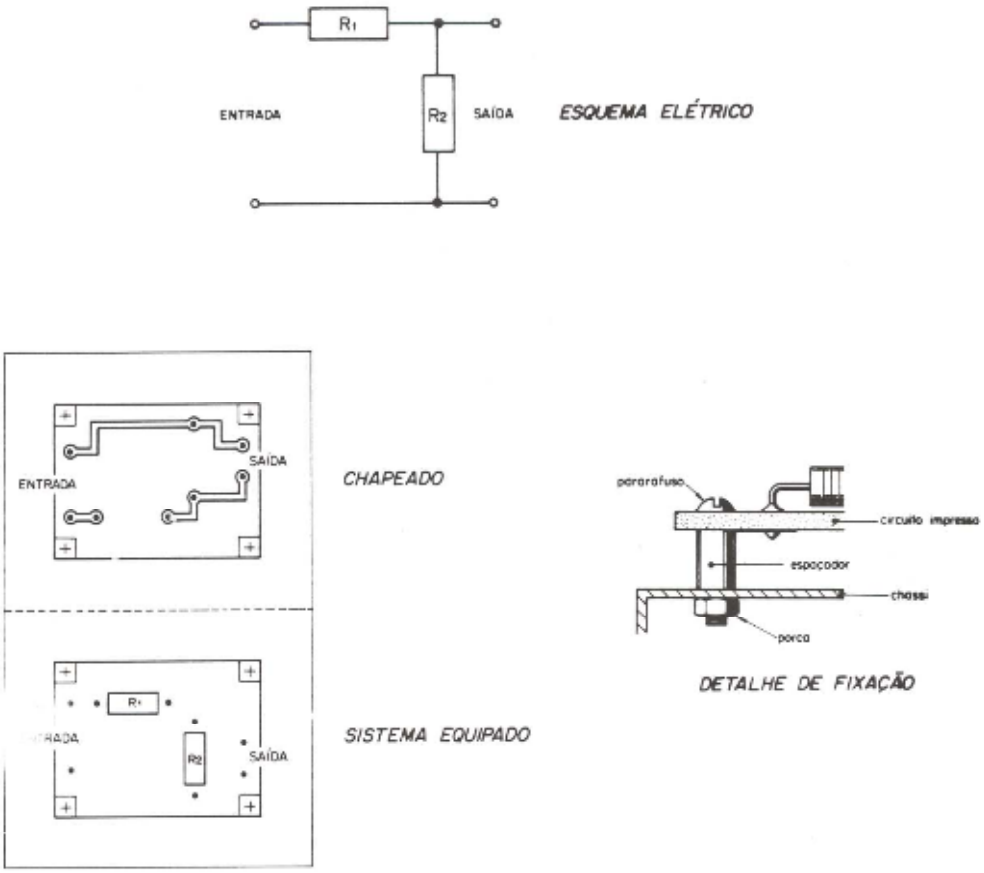


Fig. 195

Lista de Materiais:

Ri - resi5tor 1552 x 5w - 1
R2 - resistor 3352 x 2w - 1
Terminais para circuito impresso - 4
Parafusos de latão lj8" x 112" - 4
Porcas de latão sextavadas 1/s" - 4
Espaçadores - diâmetro 5mm
Arruelas - comprimento 7mn - 4

Informações Técnicas:
ENTRADA – 10V
SAÍDA – 5V – 150mA

17 CONFECÇÃO DE CIRCUITO IMPRESSO

A "confecção de circuito impresso" é a realização de um conjunto de procedimentos que resulta em uma placa com tamanho, filetes e furações adequadas a montagem de um circuito eletrônico (fig. 196).

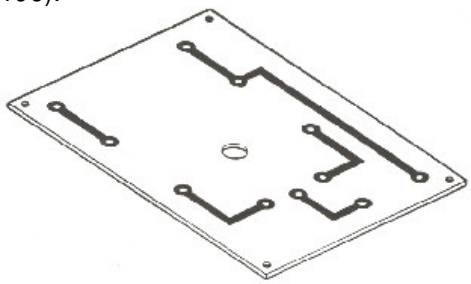


Fig. 196

A confecção de uma placa de circuito impresso envolve uma seqüência de procedimentos, realizados a partir do projeto pré-elaborado:

- Corte da chapa de fenolite
- Preparação para a pintura
- Pintura
- Corrosão
- Selagem
- Furação

Corte da placa de fenolite

Com o projeto em mãos determina-se o tamanho de placa necessário para a fabricação do circuito impresso.

O corte da placa pode ser realizado comum arco de serra, com uma lamina afiada, com uma guilhotina ou com cortador (fig.197).

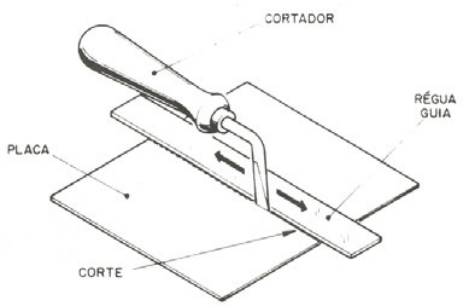


Fig. 197

A guilhotina é o melhor equipamento para o corte das placas, mas normalmente só é utilizada industrialmente.
Quando se utiliza a guilhotina deve-se tomar cuidado para evitar ferimentos na sua lamina.

Após o corte costuma-se lixar levemente as bordas da chapa para dar um melhor acabamento ao trabalho.

Prepararão para a pintura

Antes de realizar a pintura a chapa deve sofrer um processo de limpeza do lado cobreado. A limpeza tem por finalidade eliminar poeiras, gorduras e óxidos da face cobreada que podem prejudicar a pintura.

A limpeza se divide em duas fases:

Física - eliminação de óxidos e poeiras.

Química - eliminação de gorduras, aplicando-se um solvente na face cobreada. A limpeza química normalmente é realizada apenas nos processos de fabricação industrial de circuitos impressos.

OBSERVAÇÃO:

Após a limpeza não se deve tocar a placa com os dedos para evitar a deposição de gorduras na placa.

Pintura da placa

A pintura é feita sobre á face cobreada. As regiões de cobre cobertas pela tinta são aquelas onde o cobre deve permanecer na placa. 0 projeto da placa traz o desenho das regiões de cobre que devem permanecer e das que devem ser retiradas (fig.198)

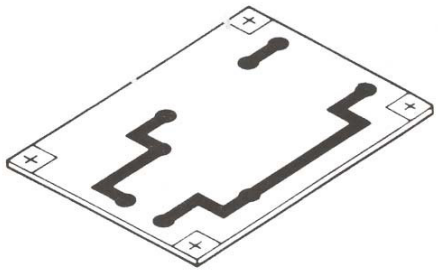


Fig. 198

A pintura pode ser realizada de várias formas. Entre gilas citam-se:

- Processo manual
- Foto gravação
- Impressão serigráfica (silk-screen)

Pintura por processo manual

A pintura por processo manual é muito utilizada para a confecção de um pequeno número de placas de circuito impresso.

Consiste do traçado dos contornos sobre a face cobreada e posterior preenchimento dos espaços com tinta apropriada (figs. 199 e 200).

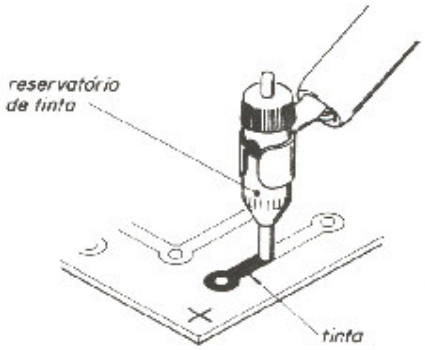


Fig. 199

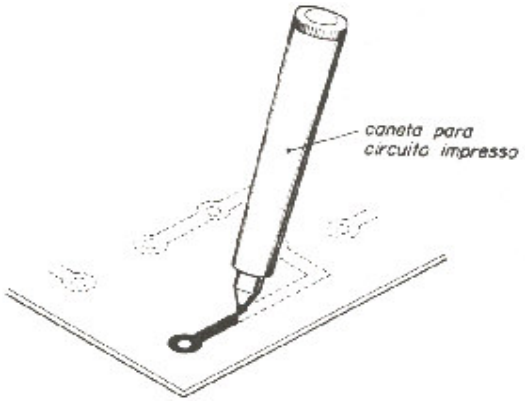


Fig. 200

Os processos de silk-screen e fotogramação são utilizados na produção industrial circuitos impressos.

OBSERVAÇÃO:

Antes de prosseguir no processo de fabricação do circuito impresso deve-se aguardar que a tinta esteja bem seca.

Corrente na placa

Corrosão ë o processo químico que retira da chapa o cobre que não está coberto por tinta.

Corrosão ë feita normalmente por um preparado químico denominado PERCLORETO DE FERRO. O percloreto de ferro é um sal com teor ácido que dissolvido em água realiza a retirada do cobre das regiões desprotegidas da placa. Nos processos industriais o ácido é jogado sobre a face cobreada da placa (fig. 201).

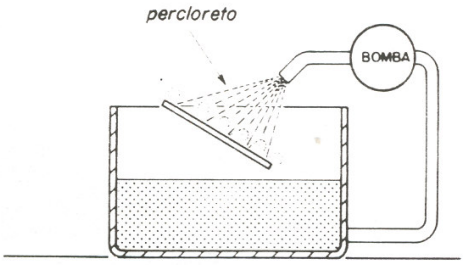


Fig. 201

Nos processos de fabricação em pequena escala o percloreto é colocado em um recipiente de material não metálico. A placa é depositada na superfície da solução com a face cobreada para baixo (fig. 202).

Fig. 202

O percloreto de ferro não deve ser colocado ou armazenado em recipientes metálicos porque provoca a corrosão do vasilhame, contaminando-se.

Cuidados com o percloreto	*Embora o percloreto não seja um preparado de poder corrosivo elevado, deve-se evitar o contato com roupas, metais e principalmente com a pele e os olhos.*

A arrosão não tem um tempo definido porque depende da concentração do corrosivo também do seu grau de utilização anterior. Pode-se acelerar o processo de corrosão aquecendo a solução de percloreto de ferro.

O controle é feito por observação, examinando-se a placa de tempo em tempo .que cobre tenha sido totalmente removido das regiões descobertas. Após, retira-se placa da solução e realiza-se uma limpeza com um pano limpo embebido em álcool o solvente. A figura 203 apresenta o aspecto de uma placa corroída e limpa.

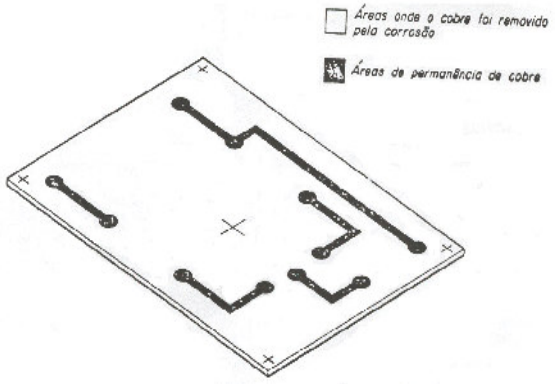


Fig.203

Devido a imperfeições na pintura da placa, principalmente quando é feita por processo manual, podem acontecer algumas imperfeições nos filetes, após a corrosão.

A seguir estão listados os principais defeitos e as tolerâncias admissíveis.

ESTREITAMENTO- *O* filete não pode ter um estreitamento maior que 20% da sua largura final e não pode ocorrer em mais de uma vez no mesmo filete (fig. 204).

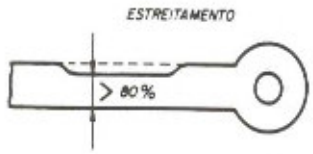


Fig. 204

REENTRÂNCIA - *A* largura de um filete não pode ter reentrância maior que 40% de largura final do filete e não pode ocorrer mais de duas vezes no mesmo filete (fig.205)

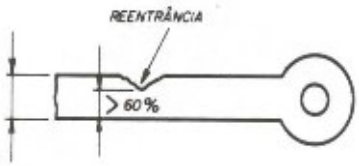


Fig. 205

PINHOLE - *A* largura de um pinhole não pode ser maior que 40% da largura final do filete e não acide ocorrer mais de duas vezes no mesmo filete (fig.206).

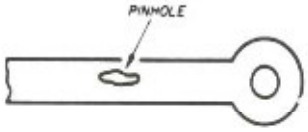


Fig. 206

ALARGAMENTO DO FILETE - A largura final de um filete não pode ser maior, que 20% da largura nominal, não podendo ocorrer mais de uma vez no mesmo filete (fig.207).

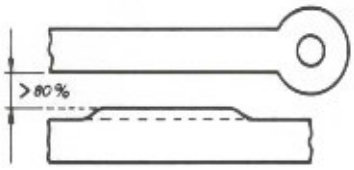


Fig. 207

SALIÊNCIA - O aumento da largura final de um filete, causado por uma saliência não continua na borda, não pode ser maior que 40% da largura nominal e não pode ocorrer mais de duas vezes no mesmo filete (fig. 208)

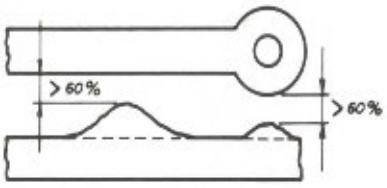


Fig. 208

Tolerância de posicionamento dos furos nas ilhas - 0 estreitamento do anel circundante causado por deslocamento do furo pode ser no mínimo maior ou igual a 0,1mm (fig. 209).

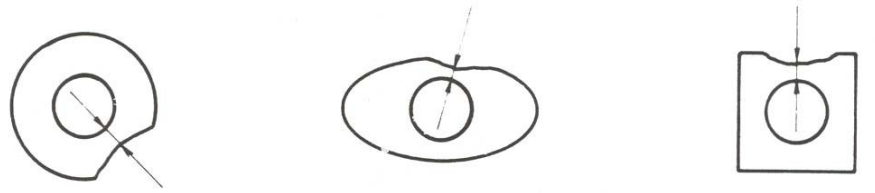


Fig. 209

Estreitamento das ilhas - *A* largura do anel circundante não pode ter um estreitamento maior que 30% no valor nominal (fig. 210).

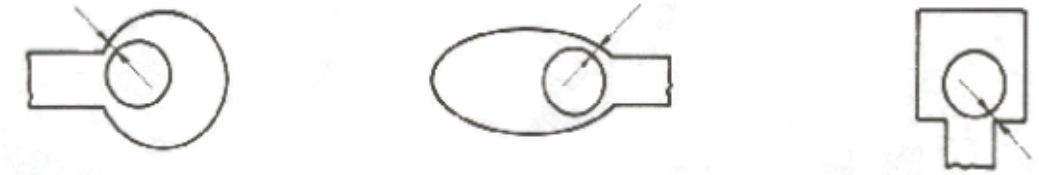


Fig. 210

Tolerância na furação - 0 diâmetro final do furo P o diâmetro especificado pelo desenho de furação, com uma tolerância de t 0,1mm

Selagem

Após a corrosão a face da placa deve ser "selada" com um produto que evite a oxidação.

Normalmente usa-se um verniz protetor que pode ser goma-laca (dissolvida em álcool) ou mesmo um verniz em SPRAY contanto que aceite a solda (fig. 71). -

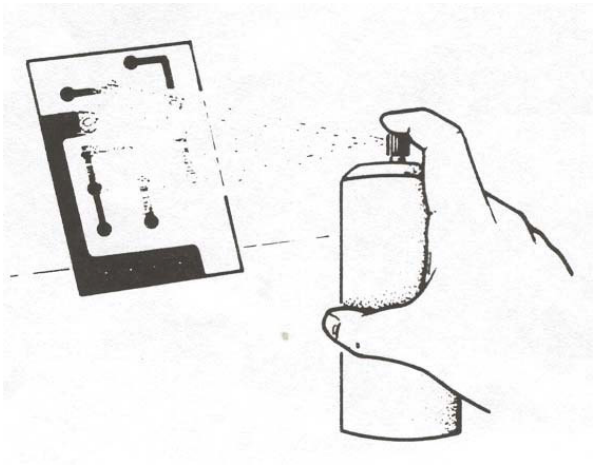


Fig. 211

Furação

Após a selagem a placa é furada para a colocação dos componentes e também para a fixação (fig. 212).

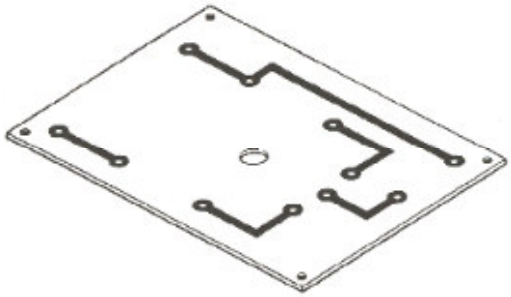


Fig. 212

Furação para terminais de componentes: Os furos são realizados com brocas adequadas para cada tipo de componente. A tabela abaixo apresenta alguns componentes e as brocas utilizadas para os furos de passagem dos seus terminais.

COMPONENTE	DIAMETRO DA BROCA
RESISTORES (até 5W)	1,0 mm
CAPACITORES	1,0 mm
TRIMPOTS	1,5 mm
CONDUTORES (22 AWG)	1,0 m

Furos para a fixação: Os furos para a fixação devem ser realizados com dimensões compatíveis com o elemento de fixação utilizado.
Nos casos de fixação por parafuso e espaçador o furo deve ser pouco maior que o diâmetro externo da rosca (furo passante), não permitindo**,** porém a passagem da cabeça (fig. 213).

Fig.213

A furação também pode ser feita utilizando os furadores de circuito impresso.

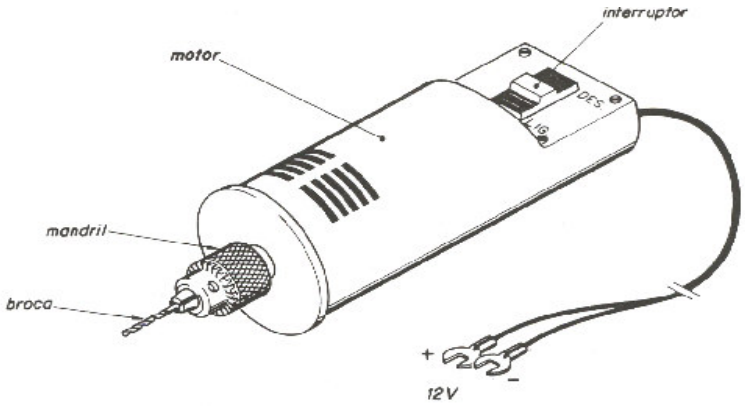


Fig. 214

18 REGULADORES DE TENSÃO

Regulador de Tensão 78xx

É um regulador de tensão fixa positivo, permitindo correntes de saída de até 1,5A.
Possui proteção interna contra curto circuito e sobreaquecimento.

Pinagem

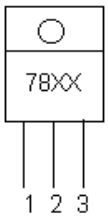


Fig. 215 - Regulador 78XX

Onde:

Pino 1 - Entrada;
Pino 2 - Comum (GND);
Pino 3 - Saída.

Especificações.

- Máxima potência dissipada sem dissipador de calor - 2W.
- Máxima potência dissipada com dissipador de calor - 15W.
- Corrente de consumo interno - 4,5mA
- Regulação - +/- 8%

C.I.	VINmin (V)	VINmáx (V)	Vo (V)	Vo(tol) (%)	Icc (mA)
7805	7	25	5	8	750
7806	8	25	6	8	550
7808	10,5	25	8	8	450
7885	10,5	25	8,5	8	450
7812	14,5	30	12	8	350
7815	17,5	30	15	8	230
7818	21,	33	18	8	200
7818	27	38	24	8	150

Onde:

Icc - Corrente de curto circuito de saída;
Vo(tol) - Tolerância da tensão de saída.

Aplicações Do 78xx.

A) Regulador de Tensão Fixa

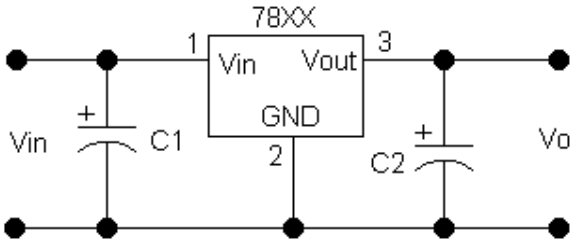


Fig. 216 - Regulador de tensão fixa

Onde:

C1 = 0,33 ∝F
C2 = 0,1 ∝F

B) Regulador Fixo com Divisão de Potência

Se a tensão de entrada for muito elevada em relação à tensão de saída, pode-se conectar um resistor em série com a entrada dividindo assim a potência dissipada entre o resistor e o regulador.

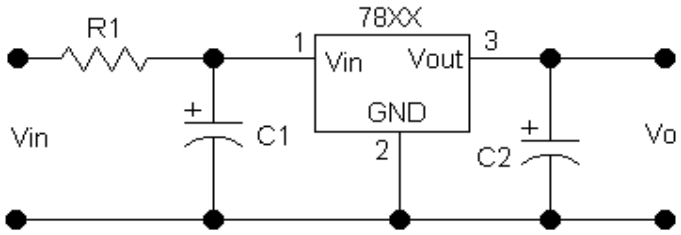


Fig. 217 - Regulador de tensão fixa com divisão de potência

$$Pci_{\max} = \frac{(\quad)}{Vi \square Vo} \qquad PRi = \frac{(\quad)Y1 \square VL}{Io_{\max}}$$
$$Io_{\max}$$

C) Regulador de Tensão de Alta Corrente

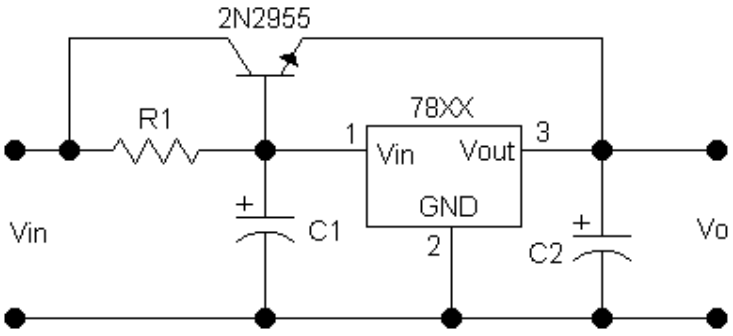


Fig. 218 - Regulador de tensão de alta corrente

Neste circuito a corrente máxima fica apenas limitada pelas características do transistor utilizado. Com o transistor indicado podemos alcançar correntes de até 10A.

O resistor R, tem como valor típico 4,7 Ohms. Os capacitores permanecem os mesmos valores já citados anteriormente.

Regulador de Tensão 79xx

É análogo ao regulador 78XX, diferindo apenas na pinagem e na tensão fornecida, uma vez que este regulador foi desenvolvido para fornecer tensões fixas negativas.

Pinagem

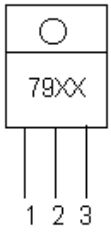


Fig. 219 - Regulador 79XX

Onde:

Pino 1 – Comum (GND);

Pino 2 – Entrada;

Pino 3 – Saída

Circuito Típico

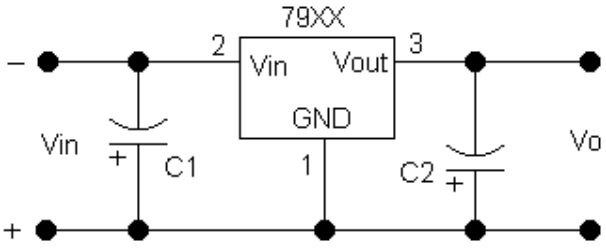


Fig. 220 - Regulador de tensão fixa negativa

19 REGULADORES COM DIODO ZENER

Diodo Zener com regulador de tensão

As características de comportamento do diodo zener na região de ruptura permitem que o componente seja utilizado em circuitos que possibilitam a obtenção de uma ten- são regulada, a partir de fontes que forneçam tensões variáveis ou mesmo com cargas de consumo variável (fig. 221).

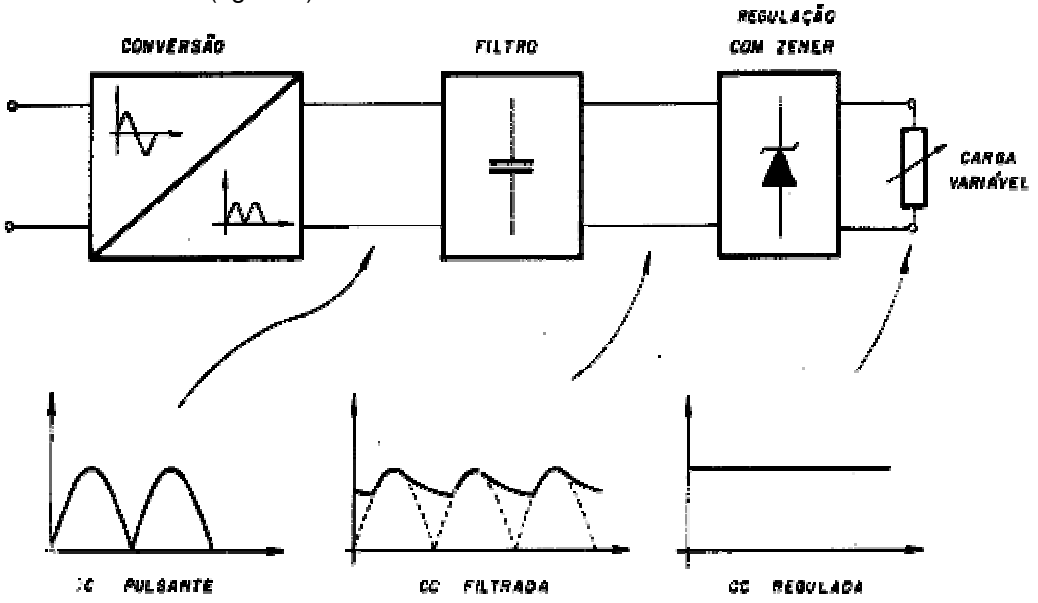


Fig. 221

Para que o diodo zener seja utilizado como regulador de tensão é necessário introduzir junto com o componente, no circuito regulador, um resistor que limite a corrente do zener abaixo do seu valor máximo (Izmáximo).

A figura 222 apresenta a configuração característica de um circuito regulador de tensão com o diodo zener.

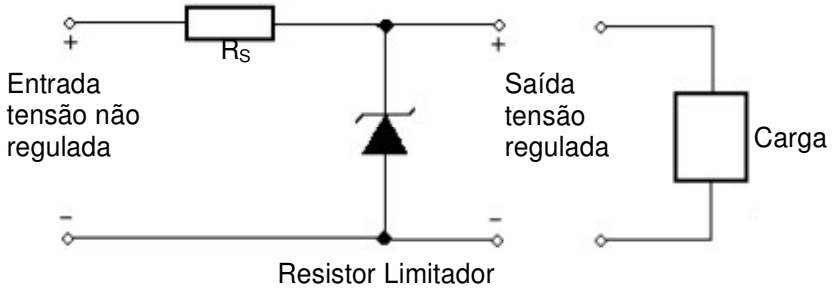


Fig. 222

20 FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO REGULADOR

O circuito regulador com diodo zener deve receber na entrada uma tensão no mini 40% maior que o valor desejado na saída para que seja possível efetuara regulação. Assim, se a tensão de saída desejada é de 6V o circuito regulador deve utilizar um diodo zener com Vz = 6V e tensão de entrada de peio menos 8,5V (fig. 223)

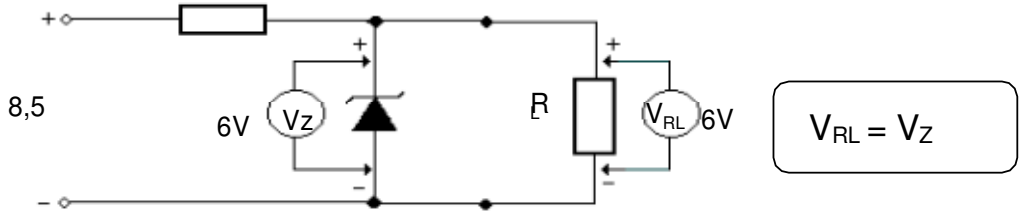


Fig. 223

Condição normal

A aplicação de tensão de entrada superior a tensão de ruptura do diodo zener, coloca o componente na região de ruptura.
Desta forma a tensão sobre o zener assume o valor característico Vz (fig. 224).

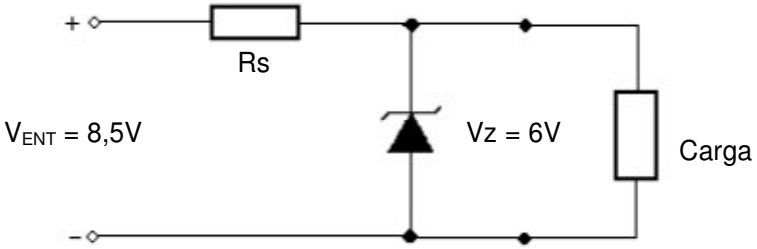


Fig. 224

Como diodo zener e a carga estão em paralelo, assumem a mesma tensão (fig. 225)

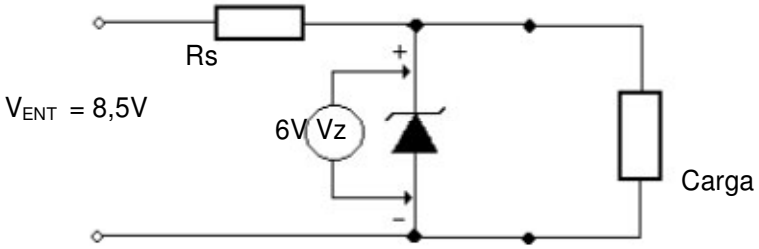


Fig. 225

Nesta condição circula corrente através da carga e do diodo zener (fig. 226).

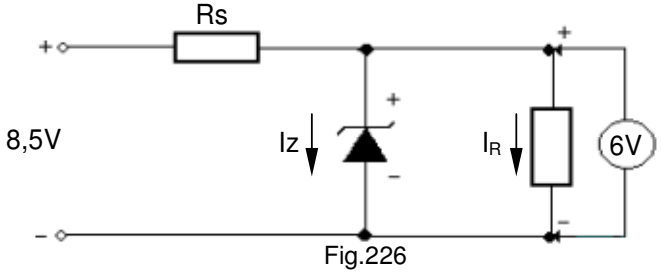


Fig.226

Através do resistor limitador circula a soma das correntes do zener e da carga (fig. 227).

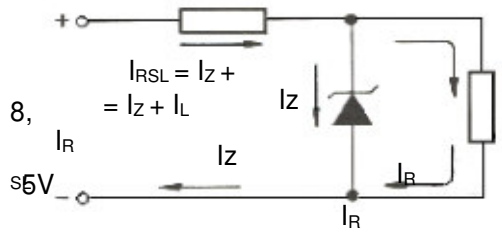


Fig. 227

Estas correntes provocam uma queda de tensão sobre o resistor, cujo valor é exatamente a diferença entre a tensão da entrada e a tensão do zener (fig. 228).

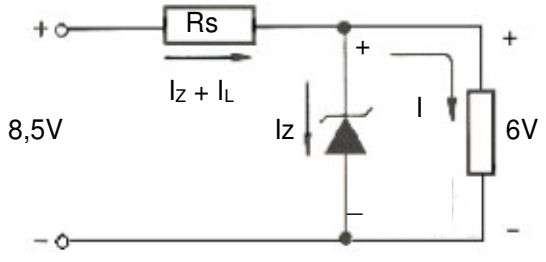


Fig. 228

Esta é a condição normal de funcionamento do circuito (fig. 229).

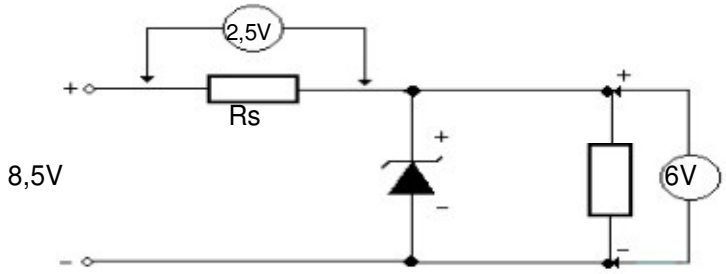


Fig. 229

Condições de regulação

A partir da condição normal de funcionamento são possíveis três situações distintas:

- Regulação de tensão quando a tensão de entrada está sujeita a variações.
- Regulação de tensão quando o consumo de corrente de carga pode ser variável.
- Regulação de tensão quando a tensão de entrada e a corrente de carga variam.

21 Regulação de Tensão com Tensão de Entrada Variável

Esta situação é muito comum em circuitos eletrônicos alimentados pela rede elétrica CA. A tensão fornecida pelas fontes retificadores alimentadas pela rede elétrica CA variam proporcionalmente em relação a tensão de entrada (fig. 230).

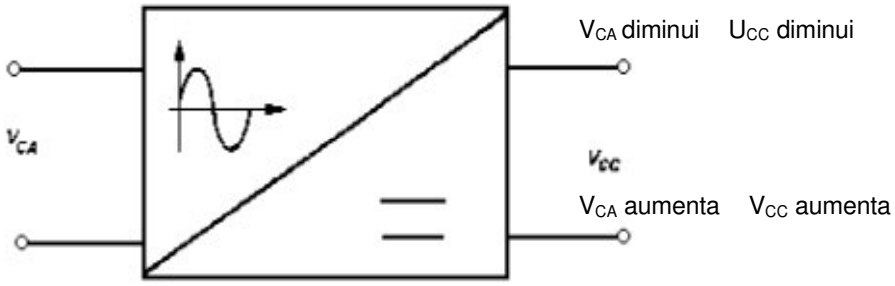


Fig. 230

Para conseguir que a tensão CC fornecida aos circuitos eletrônicos alimentados pela rede CA seja constante, são utilizados circuitos reguladores com diodo zener.

A seguir está descrita a forma como circuito regulador atua quando ocorre variação na tensão de entrada, tomando como referência um circuito na condição normal de funcionamento (fig. 231).

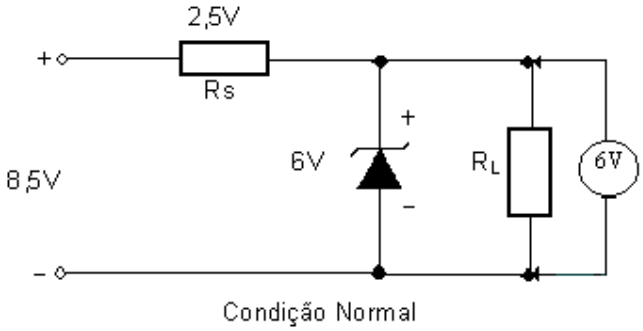


Fig. 231

Aumento na tensão de entrada

Quando ocorre um aumento na tensão de entrada este aumento tende a se transferir para a carga.

Entretanto, o zener em paralelo com a carga mantém a tensão na carga constante; a do zener diminui, permitindo a circulação de um valor de corrente zener maior (Vz = Rz . Iz) (fig. 232 e 233).

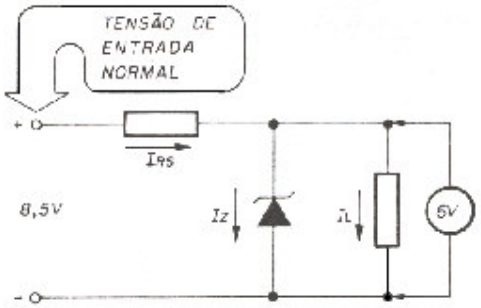


Fig. 232

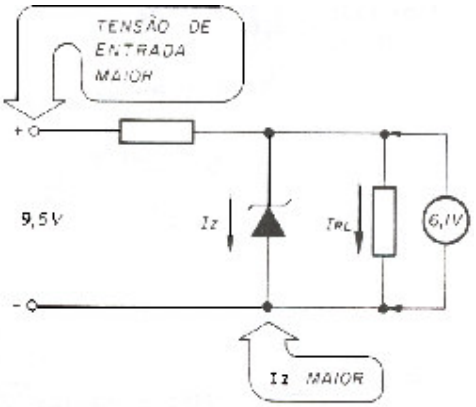


Fig. 233

Resumindo:

Com o aumento na tensão de entrada.

a) A tensão e corrente na carga permanecem praticamente constantes.
b) A corrente do zener aumenta.

A soma das correntes do zener e carga ($I_Z + I_{RL}$) circula no resistor limitador. Com aumento na corrente do zener aumenta também a corrente na resistor limitador ($I_L + I_Z = I_{RS}$).

Com o acréscimo da corrente no resistor limitador a sua queda de tensão aumenta com pensando o aumento na tensão de entrada (fiq. 234 e 235),

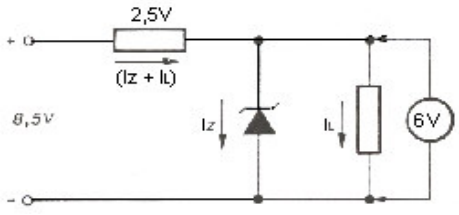


Fig. 234

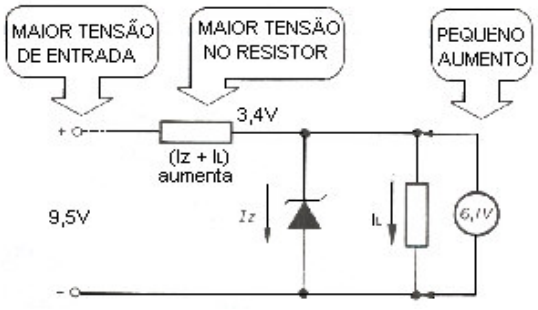


Fig. 235

Na prática, observa-se um pequeno aumento na tensão zener (por exemplo, de 6V para 6,1V). A figura 236 ilustra o comportamento do circuito regulador com o aumento da tensão de entrada.

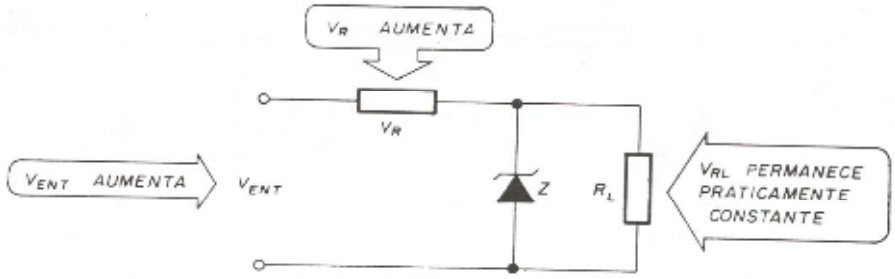


Fig. 236

Redução na tensão de entrada

Quando há uma redução na tensão de entrada o zener se comporta de forma inversa. Embora a tensão de entrada diminua, o zener em paralelo com a carga mantém a tensão de saída constante.

Para que a tensão no zener (e na carga) permaneça constante a resistência interna do zener aumenta, de forma que a corrente zener diminui (Vz =Rz .Iz) (fig. 237 e 238).

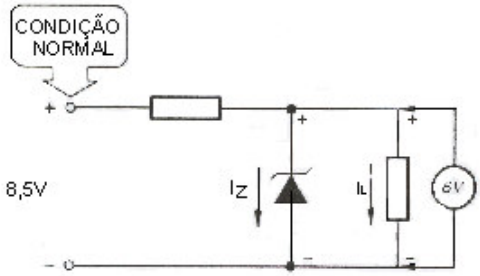


Fig. 237

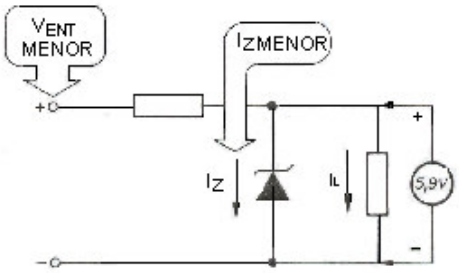


Fig. 238

Com a diminuição de IZ a corrente que circula no resistor limitador (IZ + IRL) se reduz. Isto provoca a redução na queda de tensão no resistor limitador, compensando a redução na tensão de entrada (fig. 239 e 240).

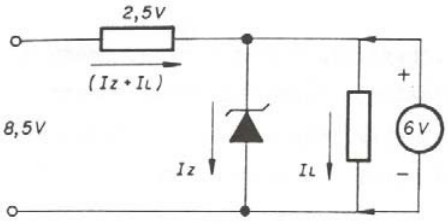


Fig. 239

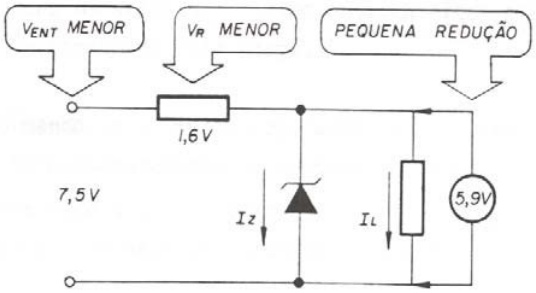


Fig. 240

Verifica-se que a tensão sobre a carga permanece praticamente constante (6V e 5,9V) mesmo que a tensão de entrada diminua significativamente (8,5V para 7,5V). A figura 241 ilustra o comportamento do circuito regulador com a redução na tensão de entrada.

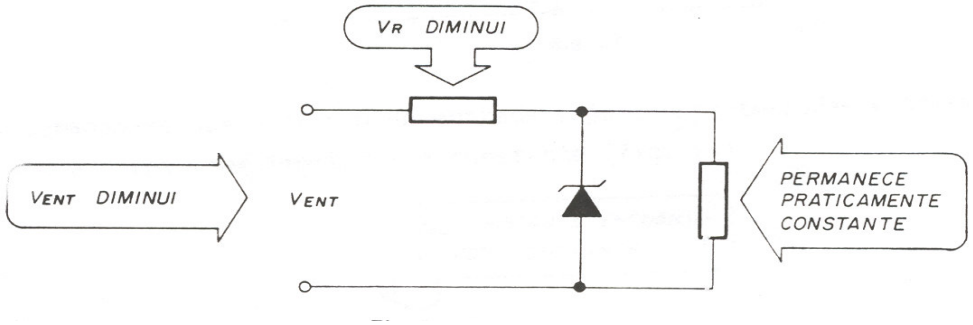


Fig. 241

Conclusão

Analisando as duas situações de regulação, conclui-se que as diferenças de tensão de entrada ficam sobre o resistor limitador, permitindo a carga receber uma tensão praticamente constante (fig. 242).

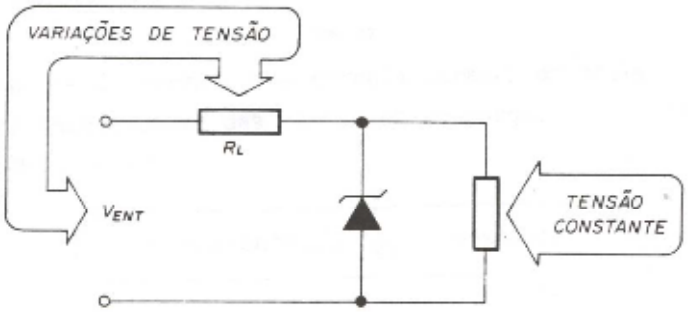


Fig. 242

22 Regulação de Tensão com Corrente de Carga Variável

As variações de tensão de alimentação em função da corrente de carga ocorrem, principalmente, devido as características dos filtros utilizados nas fontes retificadoras. A variação na tensão de ondulação na saída das fontes provoca alterações na tensão fornecida em função da corrente consumida pela carga.

O diodo zener pode ser utilizado, formando um circuito regulador, que possibilita o fornecimento de tensão constante, independentemente do consumo de corrente pela carga. A seguir é -analisada a forma como o diodo zener se comporta frente as variações da corrente de carga, tomando como base um circuito na condição normal, com valor de carga média (fig. 243).

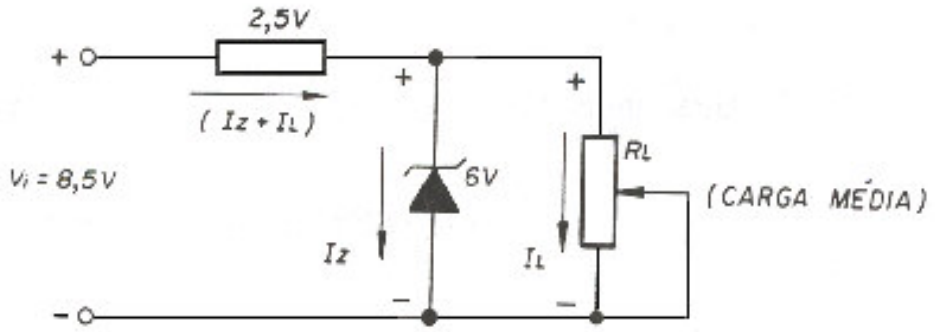


Fig. 243

Considerando-se que a tensão de entrada seja constante pode-se afirmar que a tensão sobre o resistor Limitador ë constante (fig. 244).

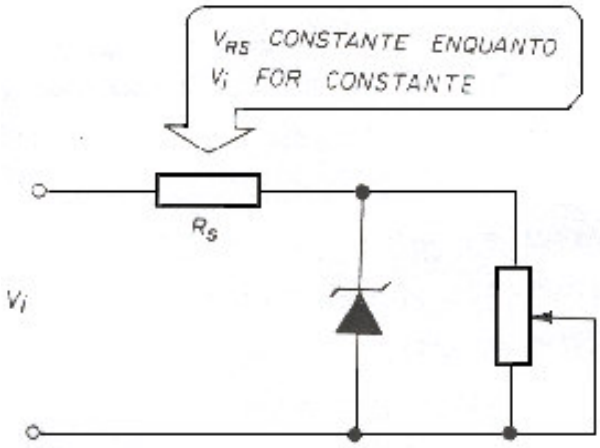


Fig. 244

Isto implica em que a corrente que circula através do resistor limitador tenha um valor constante independente das variações de carga.

Resumindo, pode-se dizer:

V_i = constante V_{RS} = constante I_{RS} = constante

Como I_{RS} é dado pela soma $I_Z + I_{RL}$ pode-se escrever:

Tensão de entrada constante $I_Z + I_{RL}$ = constante

A partir desta conclusão pode-se analisar o comportamento do circuito quando a corrente de carga varia.

Aumento na corrente de carga

Quando a corrente de carga aumenta, a corrente no diodo zener diminui, porque a soma de $I_Z + I_{RL}$ é sempre constante.

$I_Z + I_{RL}$ = constante $I_{RL} + I_Z$ = constante

As figuras 25 e 26 ilustram o que foi descrito.

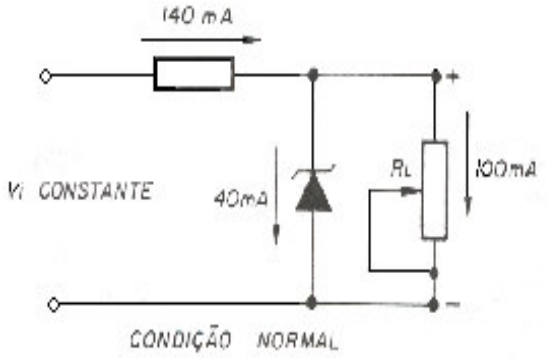


Fig. 245

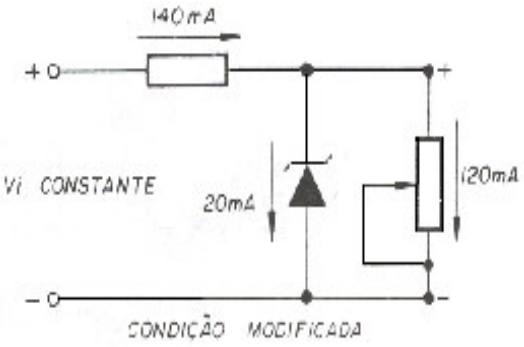


Fig. 246

I_{RL} = aumentou 20mA
I_Z = diminuiu 20mA
I_{RS} = permanecem

Diminuição da corrente de carga

Quando a corrente de carga diminui, a corrente no zener aumenta, fazendo com que a corrente no limitador permaneça constante.

$I_Z + I_{RL}$ = constante $I_{RL} + Iz$ = constante

As figuras 247 e 248 ilustram o comportamento do circuito com redução IRL.

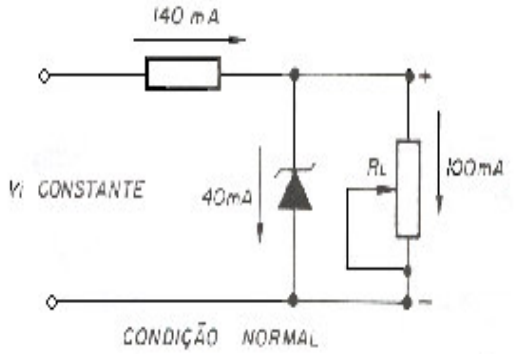


Fig. 247

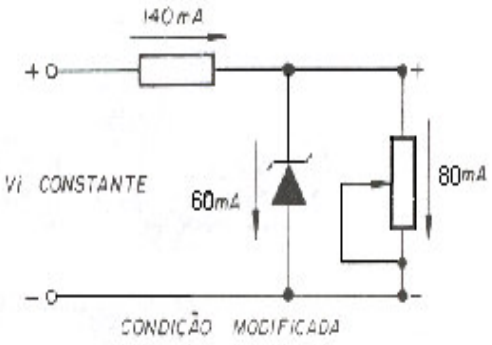


Fig. 248

I_{RL} =diminui 20mA
I_Z =aumentar 20mA
I_{RS} =permanecem constante

Observando as duas situações de variação da corrente de carga se observa que o zener absorve estas variações, de forma que a tensão sobre a carga permaneça cons- tante (fig. 249).

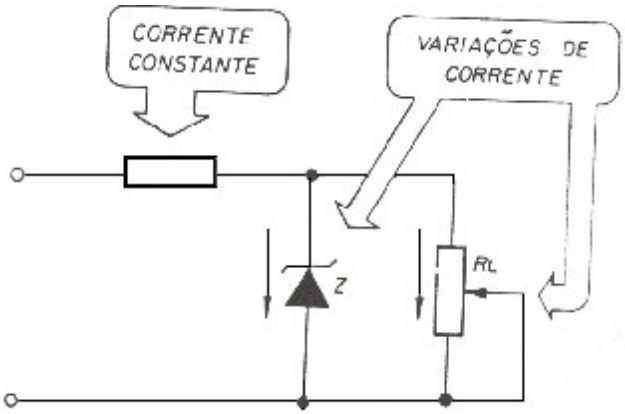


Fig. 249

23 Regulação de Tensão com Corrente de Carga e Tensão de Entradas Variáveis

Na maioria dos casos os circuitos reguladores estão sujeitos a variações simultâneas de tensão de entrada e corrente de carga.

Nestas condições o comportamento do circuito pode ser resumido em duas situações:

- As variações de tensão de entrada aparecem sobre o resistor limitador.

- As variações de corrente de carga se traduzem em variações na corrente do zener (fig. 250).

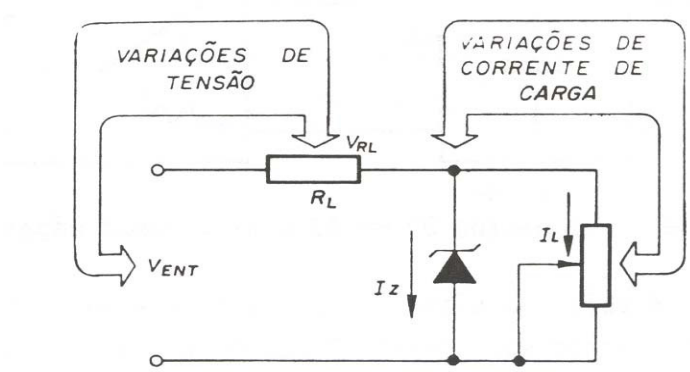


Fig. 250

24 FONTE DE ALIMENTAÇÃO COM TENSÃO DE SAÍDA REGULADA À DIODO ZENER

Uma fonte de alimentação com tensão de saída regulada à diodo zener se compõe basicamente dos três blocos apresentados na figura 251.

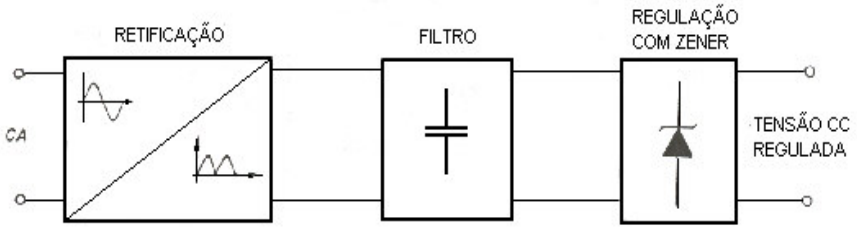


Fig. 251

- A retificação transforma a CA em CC pulsante, podendo ser meia onda ou onda completa.
- A filtragem aproxima a forma de tensão de saída à CC.
- A regulação recebe a tensão filtrada, que contém uma ondulação e que varia em função da carga e da CA de entrada, entregando na saída uma tensão constante.

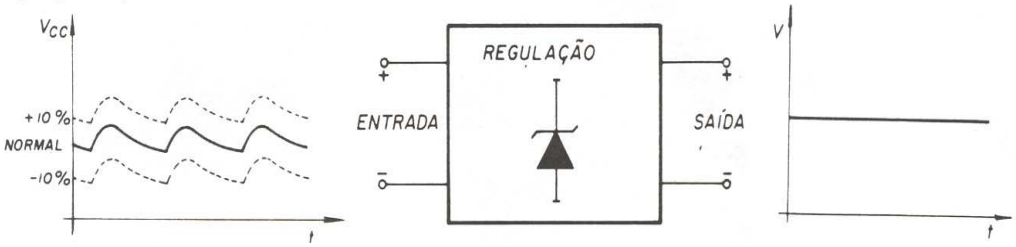


Fig. 252

A figura 253 mostra o chapeado de uma placa de circuito impresso para uma fonte de CC com tensão de saída regulada à zener, identificando os blocos do circuito.

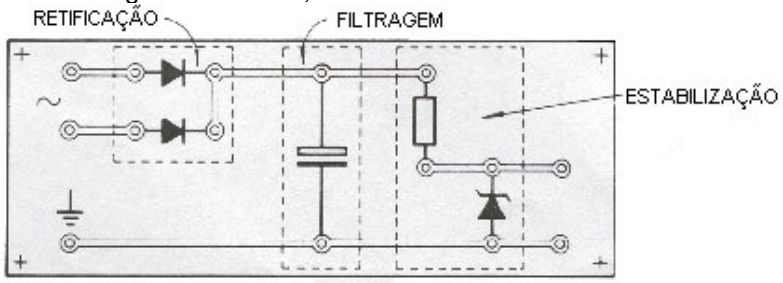


Fig. 253

OBSERVAÇÃO

Não aparecem no circuito a chave liga-desliga, o fusível, a chave seletora 110V/220V e o transformador porque estão fora da placa de circuito impresso.

Caso seja necessário reparar ou testar uma fonte deste tipo, pode-se utilizar o fluxograma de teste colocado na página seguinte.

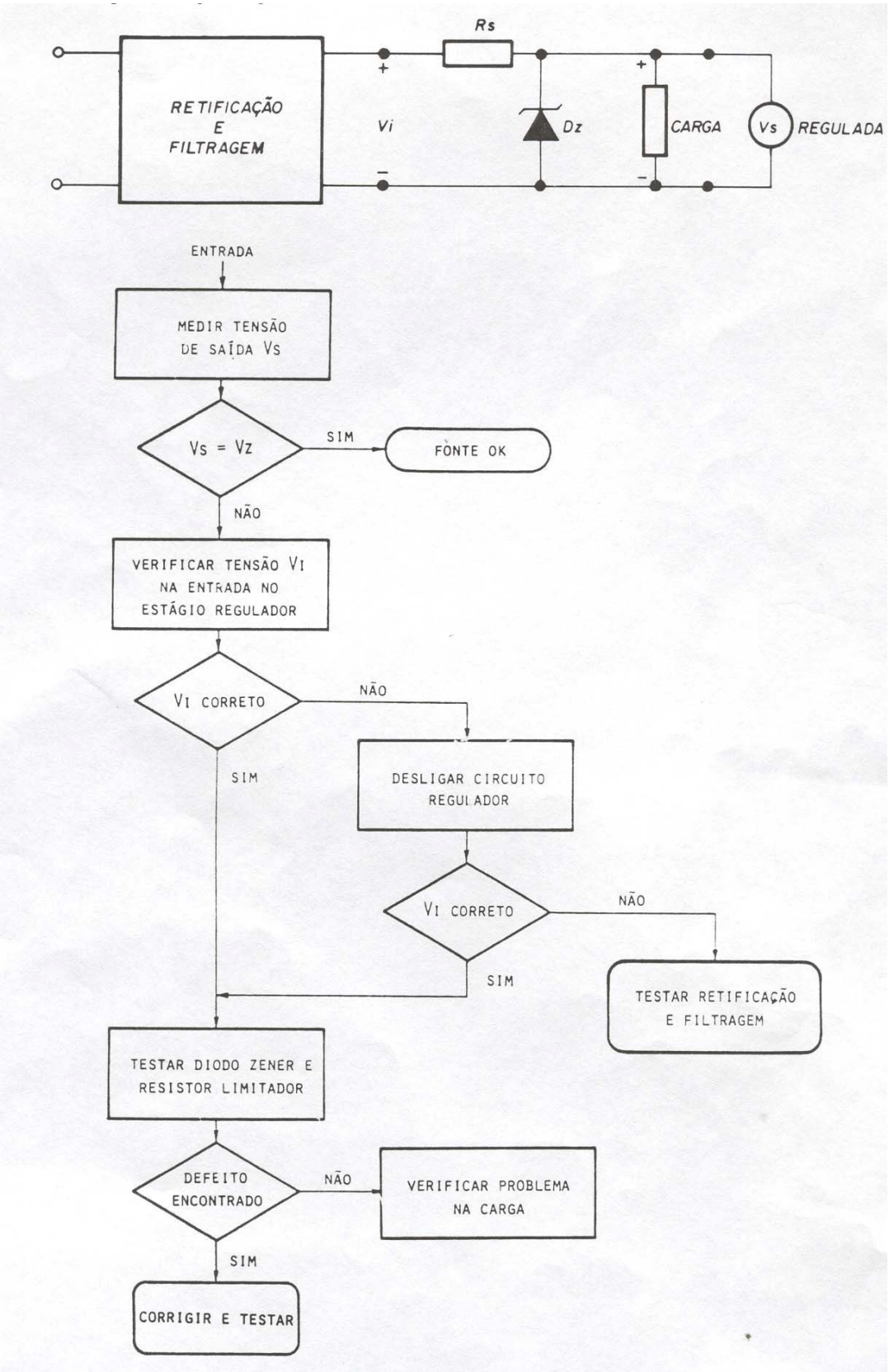


Fig. 254 Fluxograma de teste

Termistores

Este é um dispositivo muito importante para os circuitos que trabalham em locais de grande amplitude térmica.

O termistor é um resistor dependente da temperatura, ou seja, seu valor de resistência varia com a temperatura a que está submetido. Esta variação não é linear.

Na fabricação dos termistores é difícil conseguir uniformidade. As características de um termistor pode variar com o tempo e com a temperatura. Se a temperatura for ele- vada aumenta o processo de difusão, portanto, não é fácil utilizar um termistor como transdutor de precisão.
Os termistores não podem suportar temperaturas muito elevadas, por isso seu emprego é muito limitado. Geralmente, a temperatura máxima que um termistor pode suportar é, aproximadamente, 400ºC.

Os termistores pode ser de dois tipos: PTC e NTC.

PTC (Positive Temperature Coeficient)

Os PTCs são resistores cuja resistência elétrica aumenta com o aumento da temperatura.

Dados que devem acompanhar todo termistor:

A resistência (W) a 25 ºC;
A máxima tensão admissível;
A corrente máxima suportável.

Os dados para se reconhecer um termistor são fornecidos pelo fabricante.

Ex: P50/80/30/01

Onde:

P = Termistor PTC;
50 = Sigla da nomenclatura de fabricação;
80 = Corrente máxima em mA;
30 = Coeficiente de variação (30%ºC);
01 = Sigla da nomenclatura de fabricação.

O teste deste componente é feito da seguinte forma: com um ohmímetro mede-se a resistência do componente a temperatura ambiente, em seguida aproxima-se do componente uma fonte de calor e deverá ser notado um acréscimo na resistência ôhmica do mesmo.

Os termistores PTC são utilizados mais freqüentemente em:

Termostatos;
Proteção de bobinados de motores;
Estabilização de temperatura de um líquido.

Simbologia

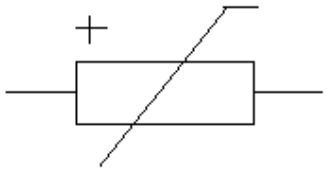


Fig. 255 - Simbologia do termistor PTC

NTC (Negative Temperature Coeficient)

Os NTCs são resistores formados por semicondutores cerâmicos feitos de óxidos metálicos, cuja resistência elétrica diminui com o aumento da temperatura.
Os NTCs são usados em faixas de temperatura que estão entre 0ºC e 400 ºC.

Estes componentes se destacam nas aplicações tais como:

Medidores de temperatura;
Proteção de circuitos;
Circuitos de alarme.

Para testá-los deve-se medir a sua resistência a temperatura ambiente, em seguida, aproximar o componente de uma fonte qualquer de calor. Observar no multímetro que o valor da resistência diminui, com o aumento da temperatura.

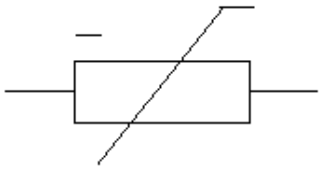
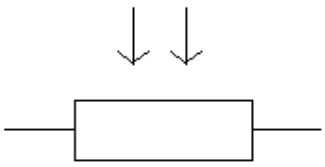


Fig. 256 Simbologia do termistor NTC

LDR

O LDR (Light Dependent Resistor - Resistor Dependente de Luz), é o um resistor cuja resistência elétrica diminui com o aumento da luz incidente na sua superfície sensível. Este efeito fotoelétrico (fotocondutividade) se baseia no seguinte princípio: quando um semicondutor recebe a luz, incide sobre ele fótons com energia suficiente para arrancar elétrons da banda de valência e passar a banda de condução. A resistência de uma célula LDR depende do número de fótons incidentes e, portanto, da intensidade luminosa.
Por não necessitarem de amplificadores os LDRs simplificam em muito os circuitos de controle industriais, uma vez que podem atuar diretamente sobre os relés de comutação.

Para testar este componente, usa-se o multímetro em ohms. Primeiramente mede-se sua resistência na presença de luz em seguida tapa-se a região sensível e deverá se observar que a resistência aumenta sensivelmente.



Simbologia do LDR

Fotodiodo

Trata-se de uma junção P-N, com uma abertura, com lente, para a entrada dos raios de luz. Quando polarizado inversamente, a luz libera mais portadores minoritários e consequentemente há um aumento da corrente de fuga.
Para testar este componente, coloca-se o multímetro em uma alta escala de resistência e mede-se com e sem luz incidente sobre a abertura. A medida efetuada com luz deve ter valor consideravelmente inferior à medida sem luz.

Simbologia do foto-diodo

Fototransistor.

Componente com a mesma estrutura do transistor bipolar convencional, porém é deixada uma abertura com lente, na região da junção base-coletor. Com a incidência de luz, diminui consideravelmente a resistência desta junção.
A principal diferença entre um fotodiodo e um fototransistor reside no fato de que no fototransistor a corrente é mais intensa, uma vez que o transistor já fornece uma amplificação deste sinal.

Para testar este componente, mede-se o valor da resistência entre coletor-emissor, com e sem luz. A medida efetuada com luz deve apresentar valor bem mais baixo do que a medida efetuada com a superfície sensível escurecida.

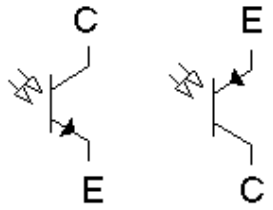


Fig. 258 - Simbologia do fototransistor

Varistor

Os varistores de óxido de zinco ou SIOV são componentes bipolares passivos, destinados a proteger circuitos de surtos ou transientes de tensão.
A resistência dos varistores diminui sempre que a tensão aplicada aos seus terminais atinge um valor limite, fazendo com que o componente passe a conduzir corrente e conseqüentemente mantendo a um nível mais baixo o valor da tensão.

É muito utilizado na proteção de contatos de interruptores para evitar as sobretensões, em circuitos retificadores com diodos de silício e na entrada de equipamentos eletrônicos com a finalidade de proteje-los de possíveis sobretensões.

Fig. 259 - Símbolo do varistor

TIMER 555

Trata-se de um circuito integrado projetado para aplicações gerais de temporização, bastante fácil de se encontrar no mercado e de funcionamento simples.

Este CI foi introduzido no mercado pela Signetics e hoje a maioria dos fabricantes de semicondutores o produz. Seu sucesso foi devido a sua grande versatilidade, podendo ser utilizado em circuitos monoestáveis ou astáveis.

Sua tensão de alimentação situa-se entre +5 e +18 volts sendo portanto compatível com a família TTL, além de ser ideal para utilização em circuitos alimentados por bate- ria. Sua saída é capaz de fornecer ou drenar correntes de até 200 mA, permitindo o comando direto de relês, lâmpadas, etc. Em repouso (saída baixa) seu consumo é de 10 mA.

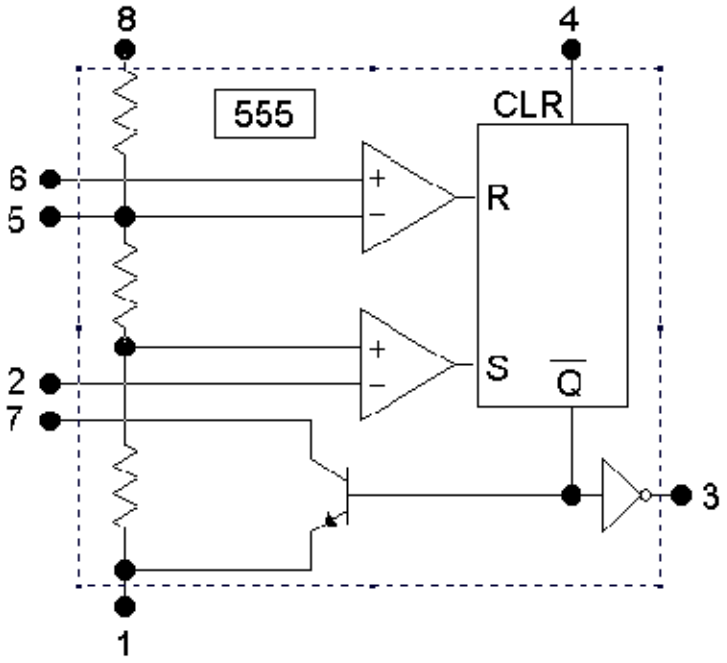


Fig. 260 – Circuito interno esquemático do 555

Como podemos observar, o 555 é composto por:

- Dois comparadores de tensão
- Um flip-flop rs
- Um estágio de saída inversor de potência
- Um transistor de descarga
- Três resistores de valores iguais que fornecem as tensões de 1/3 e 2/3 de vcc através de um divisor de tensão.

Princípio De Funcionamento

Podemos notar que o comparador superior tem uma entrada chamada Limite (Não inversora - pino 6) e uma entrada chamada Controle (Inversora - pino 5). Na maioria das aplicações a entrada de controle não é usada, de modo que a sua tensão é permanentemente igual a 2/3 Vcc.

Sempre que a tensão aplicada a entrada limite for superior à tensão de entrada de controle (normalmente 2/3 Vcc) a saída do comparador será alta. Isto provocará um Reset no flip-flop RS.

O comparador inferior possui a entrada Disparo ou Disparador (Inversora - pino 2) e uma tensão de 1/3 Vcc na entrada Não Inversora. Quando a tensão na entrada de disparo é ligeiramente inferior à 1/3 Vcc a saída do comparador vai para nível alto, provocando um Set no flip-flop RS.

O transistor de descarga é conectado ao pino Descarga (pino 7). Como podemos observar, este transistor é comandado pela saída Q/ do flip-flop: uma saída alta satura o transistor enquanto que uma saída baixa o leva ao corte.

O flip-flop RS também comanda a Saída do 555 (pino 3) pois sua saída Q/ passa através do inversor de potência e é enviada à este pino. Existe ainda a possibilidade de Resetar o flip-flop através do pino Reset ou Reciclagem (pino 4). Normalmente este pino é conectado diretamente a Vcc mas quando ligado ao terra, força nível baixo na saída do 555.

Fig. 261 – Pinagem

Pinos:

1 - GND (terra);
2 - Disparo;
3 - Saída;
4 - Reset;
5 - Controle;
6 - Limite;
7 - Descarga;
8 - +Vcc.

Multivibrador Monoestável

A figura 262 mostra o 555 ligado numa configuração monoestável ou também chamada One Shot.

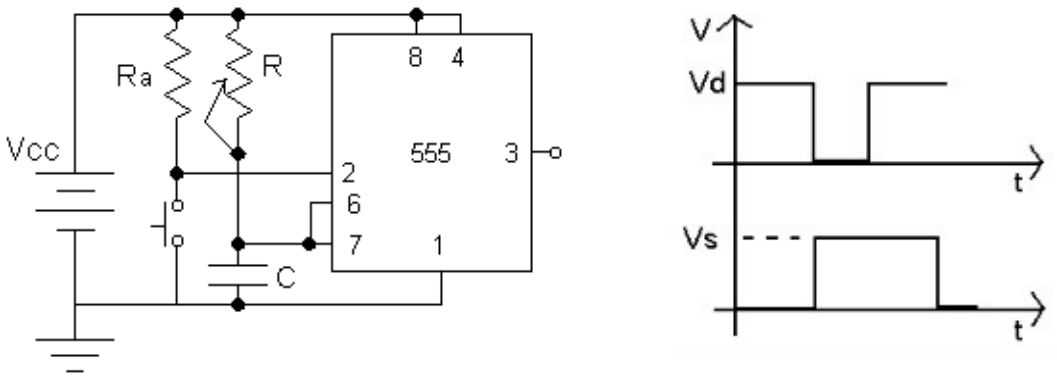


Fig. 262 – Monoestável; a)Circuito; b) Forma de onda

Funcionamento

Quando se pressiona a chave, a entrada de disparo fica inferior a 1/3 Vcc e a saída do comparador inferior sobe setando o FFP. Com isto sua saída Q/ vai para zero, cortando o transistor de descarga, permitindo que o capacitor de temporização inicie seu processo de carga através de R. Neste instante a saída vai para nível alto.

Quando a tensão do capacitor atingir um valor ligeiramente maior que 2/3 Vcc a saída do comparador superior vai para nível alto, resentando o FFP. Sendo assim, sua saída Q/ vai a nível alto, provocando a saturação do transistor e consequentemente a descarga rápida do capacitor de temporização. Neste instante a saída volta a nível baixo.

O circuito permanece nesta condição até que a chave seja pressionada novamente. Devido a isto é chamada de condição Não Ativada ou Estável.
O período em que o circuito permanece em seu estado Ativado ou Não Estável é dado pelo tempo que o capacitor leva para carregar-se até a tensão de 2/3 Vcc, determina- do pela constante RC do circuito, ou seja, pelos valores de R e corrente.

A expressão que determina este tempo é:

$t = 1{,}1 .R. C$

Onde o resultado é dado em segundos.

Multivibrador Astável

A figura 263 mostra o 555 ligado em configuração astável.

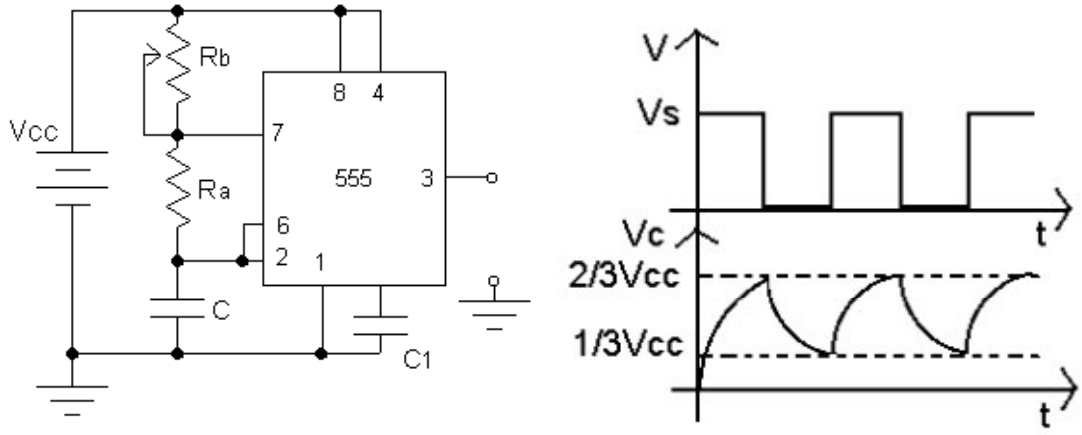


Fig. 263 – Astável; a)Circuito; b) Forma de onda

Funcionamento

Inicialmente consideramos o capacitor descarregado. Nesta condição temos que o comparador tem a entrada inversora menor que a não inversora (1/3 Vcc) e , portanto, sua saída será alta, provocando um Set no FFP. Assim sendo, Q/ será zero, provocando o corte do transistor de descarga e, consequentemente permitindo o início da carga do capacitor de temporização através de Ra e Rb. Neste instante a saída vai para nível alto.

Quando a tensão no capacitor atinge um valor pouco superior a 1/3 Vcc, a saída do comparador inferior vai para zero, sem que haja nenhuma interferência no processo de carga do capacitor.

Quando a tensão no capacitor atingir um valor pouco superior a 2/3 Vcc o comparador superior terá sua entrada não inversora com uma tensão maior que a entrada inversora (2/3 Vcc). Assim sendo, sua saída será alta, provocando um Reset no FFP.

Agora Q/ será alto, saturando o transistor de descarga e levando a saída a nível baixo. Neste instante o capacitor inicia seu período de descarga através de Ra.

Quando sua tensão passar a ser ligeiramente inferior a 1/3 Vcc, o comparador inferior terá sua saída alta, reiniciando o ciclo.

A expressão que determina os tempos alto e baixo para o circuito são:

$$Talto \quad 0\,693\,(\quad)Ra \quad . \quad Rb \; € \quad + \quad .$$

$$Tbaixo = 0\,693\; Ra \quad . \quad C$$

A freqüência do sinal de saída pode ser determinada através destes dois tempos.

$$fosc = \frac{1\,4\,4}{(\quad)2.Ra + Rb\; C}$$

26 TRANSISTOR DE UNIJUNÇÃO

O transistor de unijunção consiste num dispositivo eletrônico de estado sólido, com características elétricas que permitem sua aplicação basicamente em circuitos de temporização e osciladores de baixas freqüências.

A estrutura básica do UJT é muito simples, possuindo uma única junção semicondutora, como o próprio nome sugere. Apresente três terminais, emissor (E), base 1 e base 2.
O unijunção é formado por uma única barra de silício, do tipo N, levemente dopada. Em seus extremos estão ligados os terminais referentes a base 1 e base 2. E numa região central, altamente dopada, constituída de material tipo P, é conectado o terminal de emissor.

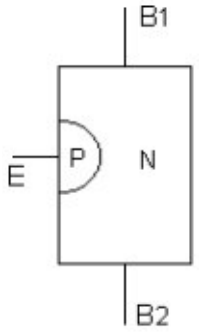


Fig. 264 – Camadas do Transistor de Unijunção

Simbologia

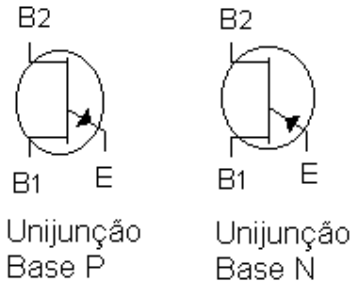


Fig. 264 – Simbologia

Princípio De Funcionamento

Ao aplicarmos uma tensão nos terminais de base, uma pequena corrente Is irá circular pelo componente, uma vez que esses terminais estão ligados por uma barra semicondutora. Assim que uma tensão de valor apropriado (Vp) é aplicada no terminal de emissor, polariza diretamente o diodo formado entre este e barra semicondutora, a resistência ôhmica da barra cai drasticamente, permitindo o surgimento da corrente Ic, diz-se que nesta situação o transistor foi disparado.

A corrente Is se manterá assim enquanto a tensão aplicada ao emissor polarizar diretamente emissor barra semicondutora.

Oscilador de Relaxação

É a aplicação mais usual para o transistor de unijunção, sendo que sua configuração básica é mostrada abaixo.

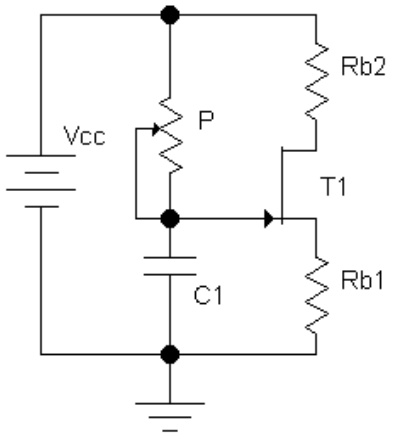


Fig. 265 – Oscilador de Relaxação

Os componentes Re e C1 formam o circuito de tempo que vai determinar a freqüência de operação do oscilador. R1 e R2 polarizam as bases do transistor determinando seu ponto de disparo, ou seja, as características do sinal gerado.

A freqüência de oscilação é dada pela fórmula matemática:

$$f = \frac{1}{R C}$$

Onde:

f - freqüência da oscilação em hertz (Hz);
R - resistência de Re em ohms (ohm);
C - capacitância de C1 em farads (freqüência).

O sinal poderá ser retirado tanto no emissor como nas duas bases, sendo que cada um terá sua forma de onda específica conforme é visto abaixo.

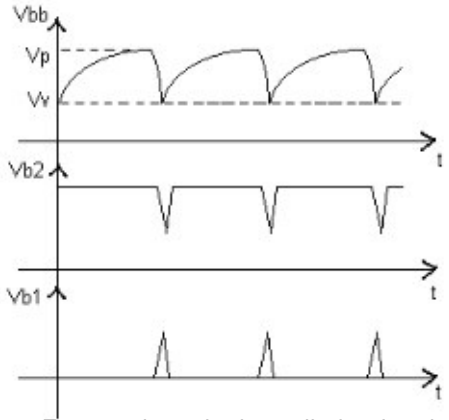


Fig. 266 – Formas de onda do oscilador de relaxação

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAWES, Chester L. Curso de eletrotécnica; corrente alternada. A course in electrical engineering . Trad. De João Protásio Pereira da Costa. 18.ed. Porto Alegre Globo, 1979. V.4

MARQUES; Angelo B. M. ;JUNIOR; Salomão C. CRUZ; Eduardo C. A. . Dispositivos Semicondutores Diodos e Transistores. 4.ed. São Paulo ,Érica ,1998

BRAGA; Newton C. Curso Prático de Eletrônica. 1 ed São Paulo ,Saber ,1995.

MALVINO; Albert Paul . Eletrônica 3 de São Paulo, MC Graw –Hill, 1991.